Entwicklung einer automatischen, digitalisierten Datenausgabe für den IGY-Neutronen-Monitor am Jungfraujoch und Einfluss der μ-Mesonenkomponente auf Neutronen-Monitor-Messungen

Inauguraldissertation der
philosophisch-naturwissenschaftlichen Fakultät
der Universität Bern
zur Erlangung der Doktorwürde

vorgelegt von
MARKUS SCHLÄPPI
von Lenk

Von der philosophisch-naturwissenschaftlichen Fakultät
auf Grund des Gutachtens von Herrn PD Dr. H. Debrunner und auf Antrag von Herrn Prof. Dr. B. Hahn angenommen
Bern, den 12. Februar 1969 Der Dekan: Hs. Nitschmann

Hausdruckerei Institut für exakte Wissenschaften der Universität Bern, 1969

ENTWICKLUNG EINER AUTOMATISCHEN, DIGITALISIERTEN DATENAUSGABE FUER DEN IGY-NEUTRONEN-MONITOR AM JUNGFRAUJOCH UND EINFLUSS DER μ-MESONENKOMPONENTE AUF NEUTRONEN-MONITOR-MESSUNGEN

INAUGURALDISSERTATION

der

philosophisch-naturwissenschaftlichen Fakultät der

Universität Bern

zur Erlangung der Doktorwürde

vorgelegt von

SCHLAEPPI MARKUS

von Lenk

Von der philosophisch-naturwissenschaftlichen Fakultät auf Grund des Gutachtens von Herrn PD Dr. H.Debrunner und auf Antrag von Herrn Prof. Dr. B.Hahn angenommen.

Bern, den 12. Februar 1969 Der Dekan:

H. Wittmann

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung 1

2. Automation des Neutronen-Monitors am Jungfraujoch 4

2.1 Automation der Datenausgabe 4

2.1.1 Allgemeines 4

2.1.2 Logische Elemente der Anlage und ihre Symbole 4

2.1.3 Registriergeräte 7

2.1.3.1 Zähler 7

2.1.3.2 Digitale Uhr 9

2.1.3.3 Digitaler Barometer 15

2.1.4 Aufbau der Read-out-Anlage 16

2.1.4.1 Allgemeines 16

2.1.4.2 Das Kommandogerät 18

2.1.4.3 Die Read-out-Geräte 21

2.1.4.4 Eingangsschaltungen 27

2.1.4.4.1 Allgemeines 27

2.1.4.4.2 Datenausgabe mittels Lochstreifen 27

2.1.4.4.3 Datenausgabe mittels Schreibmaschine 34

2.1.5 Datenübermittlung 34

2.1.6 Probleme und Möglichkeiten einer automatischen Messstation 38

2.2 Automatische Datenauswertung 39

2.2.1 Erste Auswertung am Jungfraujoch 39

2.2.2 Verarbeitung der Stundenwerte 44

3. Einfluss der μ-Mesonenkomponente auf IGY-Neutronen-Monitor-Messungen 49

3.1 Multiplizitätsmessungen mit dem IGY-Neutronen-Monitor 49

3.2 Abschätzung des μ^--Mesonenflusses am Jungfraujoch 53

3.3 Einfluss der μ^--Mesonenkomponente auf die Zählraten des Multiplizitätsmeters 57

3.4 Folgerungen 71

Verdankungen 75

Literaturverzeichnis 76

Lebenslauf 78

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41547616_0032

Figurenverzeichnis

Figur	1	Blockdiagramm der Zählanlage	2
	2	Blockdiagramm der automatischen Datenauslesung	5
	3	Logische Symbole	6
	4	Zählerdekade	8
	5	Blockdiagramm der digitalen Uhr	10
	6	Uhrendekade	11
	7	Uhrenhexade	12
	8	Stundenuntersetzer	13
	9	Diodenmatrix Uhr	14
	10	Anschlussplan zur Barometerauslesung	17
	11	Blockdiagramm des Kommandogerätes	19
	12	Allgemeine Funktionsweise der Read-out-Geräte	22
	13	Read-out-Zähler	23
	14	Umcodierung des Zähler-BCD-Codes in dezimale Form	24
	15	Read-out-Uhr	25
	16	Read-out-Barometer	26
	17	Schema der Eingangsschaltung für den T-Loch 15F	28
	18	Diodenmatrix für Zeichen	29
	19	Diodenmatrix und Telexcode für Zahlen	30
	20	Logik des Parallel-Serien-Konverter	31
	21	Schematische Darstellung des Stromverlaufes im Empfangsmagneten	32

Figur 22 Ausschnitt aus einem Registrierstreifen 33

23 Schema der Eingangsschaltung für den IBM Input-Output-Writer 731 35

24 Umformung der Dezimalzahlen in den Schreibmaschinencode 36

25 Beispiel übermittelter Daten 37

26 Flussdiagramm zur Uebertragung der Sechsminutenwerte auf Magnetband und Berechnung von Stundenwerten 41

27 Flussdiagramm für das Lesen der Lochstreifen und Einordnung der Sechsminutenwerte 43

28 Barometerkoeffizienten verschiedener Multiplizitäten am Jungfraujoch 51

29 Differentielles Spektrum der $\mu^{\pm}$-Mesonenkomponente in Meereshöhe und Zenitrichtung ($\vartheta=0^{\circ}$) 54

30 $\mu^{\pm}$-Spektrum in Zenitrichtung ($\vartheta=0^{\circ}$) in Meereshöhe (a) und 3000 m (b) (nach Allkofer und Trümper [12]) 55

31 Meereshöhenspektrum der $\mu^{\pm}$-Mesonenkomponente in Abhängigkeit des Zenitwinkels (nach Moroney und Parry [9]) 56

32 Maximale und minimale $\mu^{\pm}$-Intensitäten in 3500 m 58

33 Maximale und minimale $\mu^{\pm}$-Intensitäten in 3500 m für $\vartheta=30^{\circ}$ 59

34 Maximale und minimale μ^{-}-Intensitäten in 3500 m 60

35 Maximale und minimale μ^{-}-Intensitäten in 3500 m für $\vartheta=30^{\circ}$ 61

Tabellenverzeichnis

Tabelle	1	Steuerbefehle des Kommandogerätes	20
	2	Barometerkoeffizienten α_m, gemessen am Jungfraujoch (nach Walther [4])	50
	3	Grenzen der Impulsintegrationen, $p_{min}(\vartheta)$ und $p_{max}(\vartheta)$	64
	4	Wahrscheinlichkeit für Emission von n Neutronen bei einem μ^--Einfang im Blei (nach Kaplan et al. [19])	66
	5	Wahrscheinlichkeit für die Registrierung von m der n emittierten Neutronen	69
	6	Wahrscheinlichkeit für die Registrierung von m Neutronen bei einem μ^--Einfang	70
	7	Abgeschätzte Werte N_m^μ und mittlere gemessene Zählrate des Kanals m	72
	8	Relative Beiträge der μ-Mesonenkomponente an die totalen Zählraten N_m	73

1. Einleitung

Die Registrierung der Intensitätsschwankungen der kosmischen Strahlung mit dem IGY-Neutronen-Monitor [1] ermöglicht es, Informationen über die elektromagnetischen Verhältnisse im inneren Sonnensystem zu sammeln. Im Herbst 1957 wurde im Rahmen des Internationalen Geophysikalischen Jahres ein Neutronen-Monitor mit zwei unabhängigen Sektionen zu je sechs Zählrohren in der Hochalpinen Forschungsstation Jungfraujoch installiert. Zählraten, Luftdruck und Zeit wurden alle Viertelstunden durch Photographieren festgehalten. 1965 wurde in Zusammenarbeit mit dem Institut für Angewandte Physik der Universität Bern die Stromversorgung und die Zählanlage transistorisiert. Im Sommer 1966 wurde der Anlage eine dritte Sektion beigefügt. Dadurch ist es in gewissen Grenzen möglich geworden, durch Vergleich der Verhältnisse der Zählraten der drei Sektionen, eventuelle Aenderungen der Ansprechwahrscheinlichkeiten der Zählrohre festzustellen und zu korrigieren. Fig. 1 zeigt das Blockschema dieser Zählanlage. 1967 wurden dann, als Teil dieser Doktorarbeit, die Zeit- und Luftdruckregistrierung digitalisiert und die Datenausgabe automatisiert. Eine Beschreibung der neuen Anlage erfolgt im Abschnitt 2.1 . Im Abschnitt 2.2 werden die dazugehörigen Rechenprogramme für die elektronische Datenauswertung erläutert.

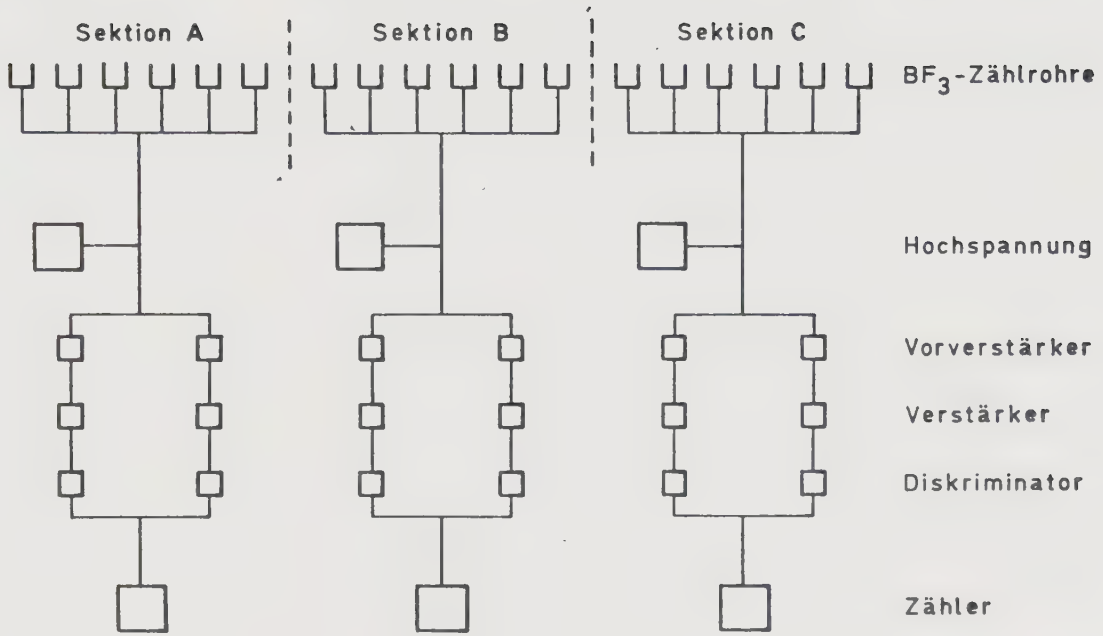


Fig.1 Blockdiagramm der Zählanlage

Von verschiedenen Gruppen ist in den letzten Jahren das Multiplizitätsspektrum der Verdampfungsneutronen im IGY- und NM-64-Neutronen-Monitor untersucht worden. Prinzipiell gestatten es diese Messungen, aus den Registrierungen einer Station die Schwankungen des Primärspektrums zu bestimmen und folglich die zeitlichen Variationen der primären kosmischen Strahlung auch bei gestörtem Erdmagnetfeld festzuhalten. 1966 wurde ein Multiplizitätsmeter an der mittleren Sektion des Neutronen-Monitors angeschlossen. Für die Analyse der Daten mussten die Barometerkoeffizienten der verschiedenen Multiplizitäten bestimmt werden. Dabei wurde eine Zunahme der Barometerkoeffizienten mit steigender Multiplizität gefunden. Dies kann durch eine energieabhängige Attenuationslänge der Nukleonenkomponente oder durch den Beitrag der μ-Mesonenkomponente an die Zählrate des Neutronen-Monitors erklärt werden. In Kapitel 3 dieser Arbeit wird untersucht, inwieweit die μ-Mesonenkomponente die Barometerkoeffizienten beeinflussen kann.

2. Automation des Neutronen-Monitors am Jungfraujoch

2.1 Automation der Datenausgabe

2.1.1 Allgemeines

Das Blockdiagramm der neuen Datenausgabe ist in Fig. 2 dargestellt. Die drei Zählraten, der Barometerstand und die Zeit werden gestaffelt alle sechs Minuten abgelesen, was (durch Interpolation) ein zeitliches Auflösungsvermögen von zwei Minuten ergibt. Die Resultate werden einerseits mit einem IBM-Input-Output-Writer Modell 731 tabelliert und andererseits mit dem von der PTT gemieteten Lochstreifenübertrager T-Loch 15F zum Computergebrauch auf Registrierstreifen festgehalten. Zudem können die Daten zur Kontrolle über das Telexnetz von Bern aus abgerufen werden.

2.1.2 Logische Elemente der Anlage und ihre Symbole

Da eine Beschreibung der Anlage mit allen elektronischen Details unübersichtlich wäre, wird in den folgenden Abschnitten der Aufbau der verschiedenen Geräte weitgehend mit Hilfe von logischen Symbolen erklärt. Fig. 3 zeigt die verschiedenen benützten Symbole mit ihrer Bedeutung.

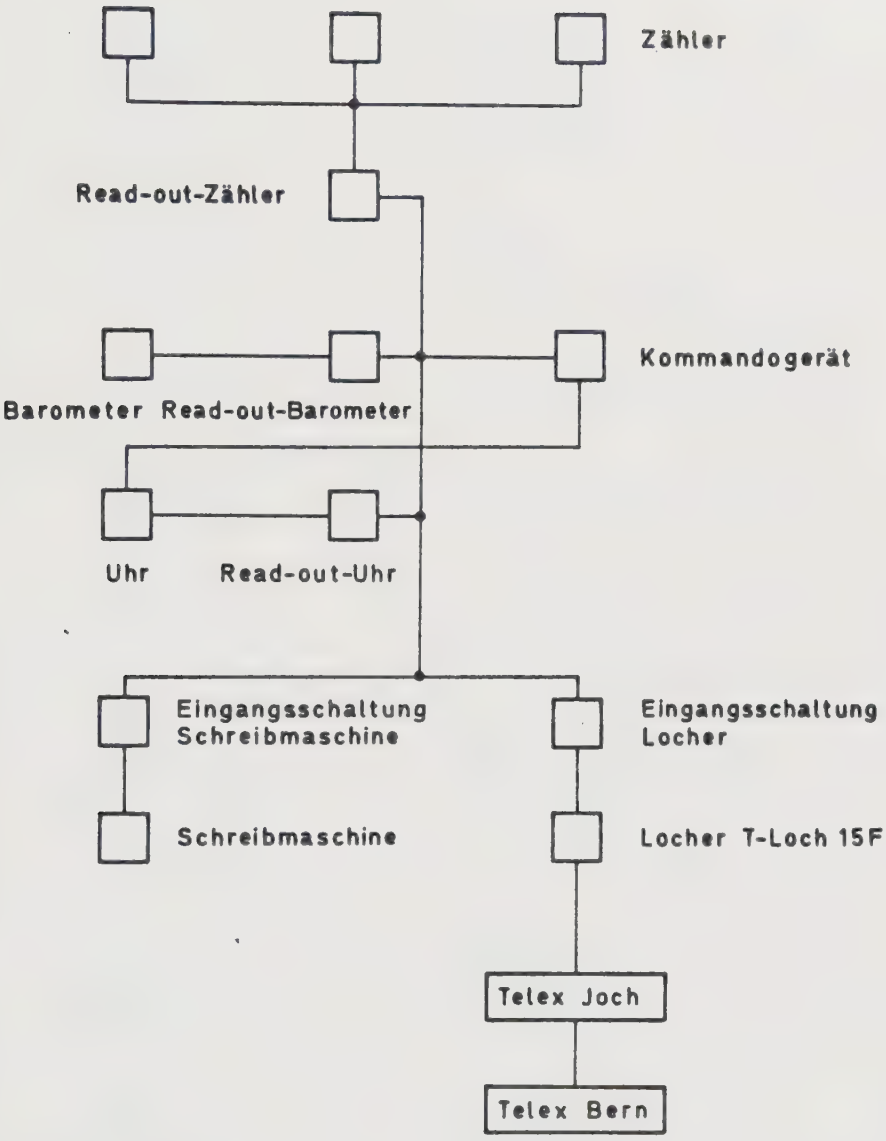


Fig. 2 Blockdiagramm der automatischen Datenauslesung

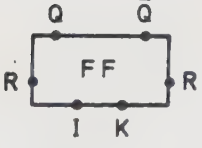
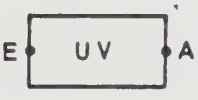
Symbol	Bedeutung
	Emitterfolger
	Inverter
	Nichtinvertierendes Undtor
	Invertierendes Undtor
	Nichtinvertierendes Odertor
	Invertierendes Odertor
	Kippstufe (Flip-Flop) $Q, \bar{Q}$: Inverse Ausgänge I, K : Eingänge R : Rückstellung
	Univibrator E : Eingang A : Ausgang
	Schmidt-Trigger E : Eingang A : Ausgang

Fig. 3 Logische Symbole

Die logischen Verknüpfungen erfolgen fast ausschliesslich gleichstrommässig, was den Aufbau der Elektronik stark vereinfachte und bei der durch die elektromechanischen Ausgabegeräte begrenzten niederen Operationsgeschwindigkeit angezeigt war.

Mit Hilfe von Invertern mussten gelegentlich die richtigen Polaritäten hergestellt werden. Soweit diese Umkehrstufen für die Logik nicht von Bedeutung sind, werden sie bei den folgenden Beschreibungen weggelassen. Weiter werden reine Leistungsverstärkerstufen (Emitterfolger), denen auch keine logische Bedeutung zukommt, nicht berücksichtigt.

Um die Elektronik zu vereinfachen wurde darauf verzichtet, die binäre O stets durch das Potential OV und die binäre I durch ein negatives Potential darzustellen.

2.1.3 Registriergeräte

2.1.3.1 Zähler

Jeder der drei Zähler besteht aus sieben Dekaden mit 1-2-4-2 BCD-Code (Fig. 4). Mit dem Shiftbefehl (Potential OV am Eingang des Shifttores) erscheinen an den Ausgängen 1,2,4,2 die dem Stand der Dekade entsprechenden Potentiale: - lOV für die binäre I, ~ OV für die binäre O . Die vier entsprechenden Ausgänge aller Dekaden der drei Zähler sind miteinander verbunden.

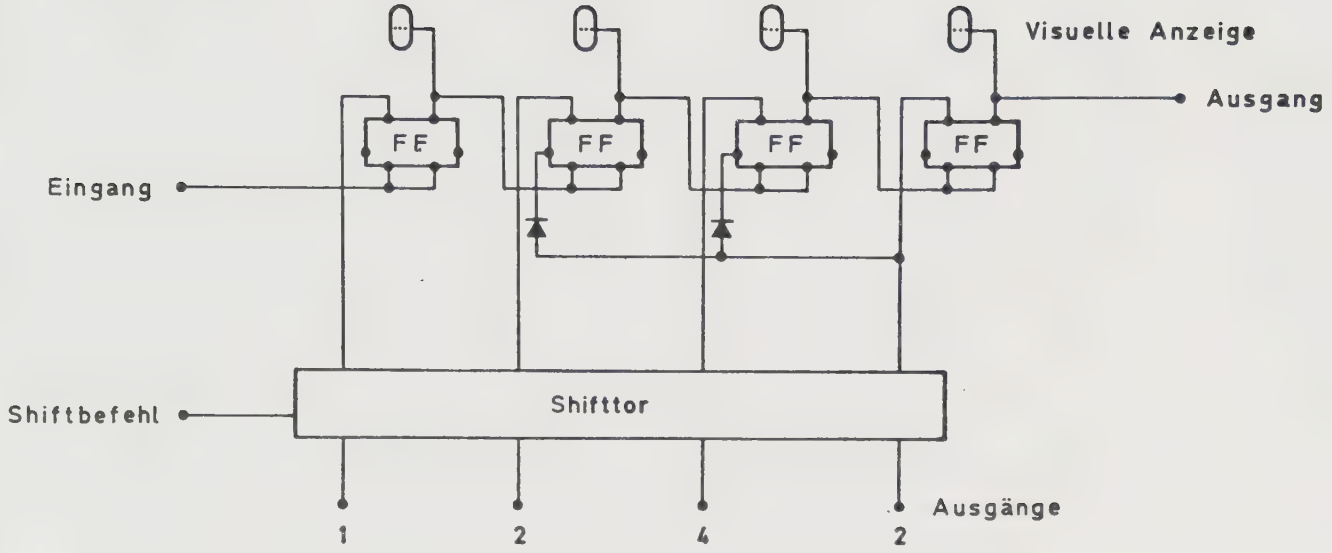


Fig. 4 Zählerdekade

Das bedeutet, dass mit 21 Leitungen die 21 Dekaden nach Wahl angesteuert werden können, worauf an nur noch vier Punkten der Stand der angerufenen Dekade in binärer Form erscheint.

2.1.3.2 Digitale Uhr

Als Zeitgeber dient die Rohde und Schwarz Kleinquarzuhr Typ CAQ-BN 7850. Ihre Genauigkeit beträgt 10^{-8}. Die Sekundenimpulse dieses Geräts werden in einer Untersetzerreihe (Fig. 5) zur Zählung von Sekunden, Minuten, Stunden und Tagen benützt. Die Figuren 6 und 7 stellen die im 1-2-4-8-Code arbeitenden Dekaden und Hexaden dar. Der Stundenzähler (Fig. 8) verlangte eine etwas speziellere Konstruktion: Ein Undtor, dessen Eingänge von Dekade und Tetrade angesteuert werden, gibt im Augenblick des Umschaltens von der Position 23 auf 24 (Mitternacht) ein Rückstellsignal an Tetrade und Dekade und einen Impuls an den Tageszähler weiter. Dieser, bestehend aus einer Tetrade und zwei Dekaden, zählt fortlaufend die Tage des Jahres. Weiter wird die Zeitangabe durch einen Jahreszähler präzisiert, der zu Beginn des Jahres jeweils manuell vorgeschoben wird. Dabei müssen auch die Tageszähler dem Datum angepasst werden.

Fig. 9 zeigt die Diodenmatrix, welche den in den Untersetzern benützten BCD-Code in einen Dezimalcode umformt.

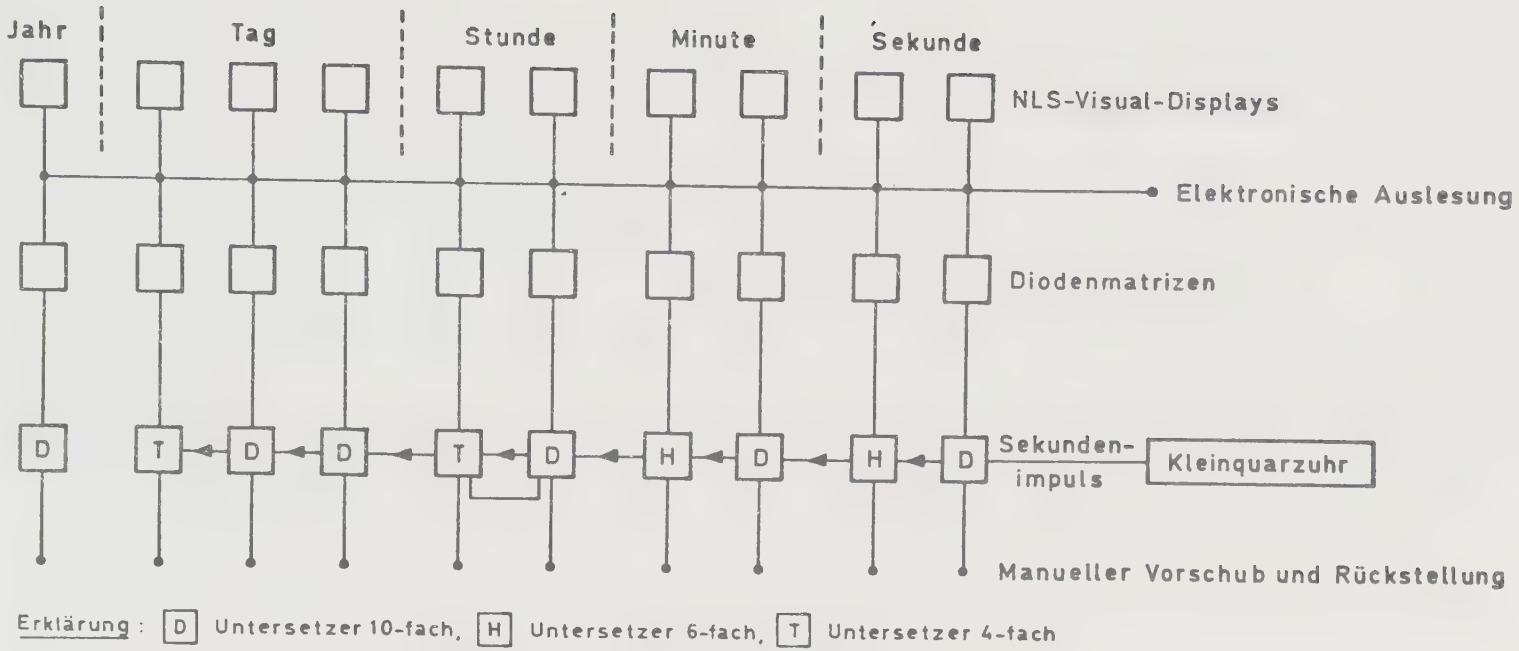


Fig. 5 Blockdiagramm der digitalen Uhr

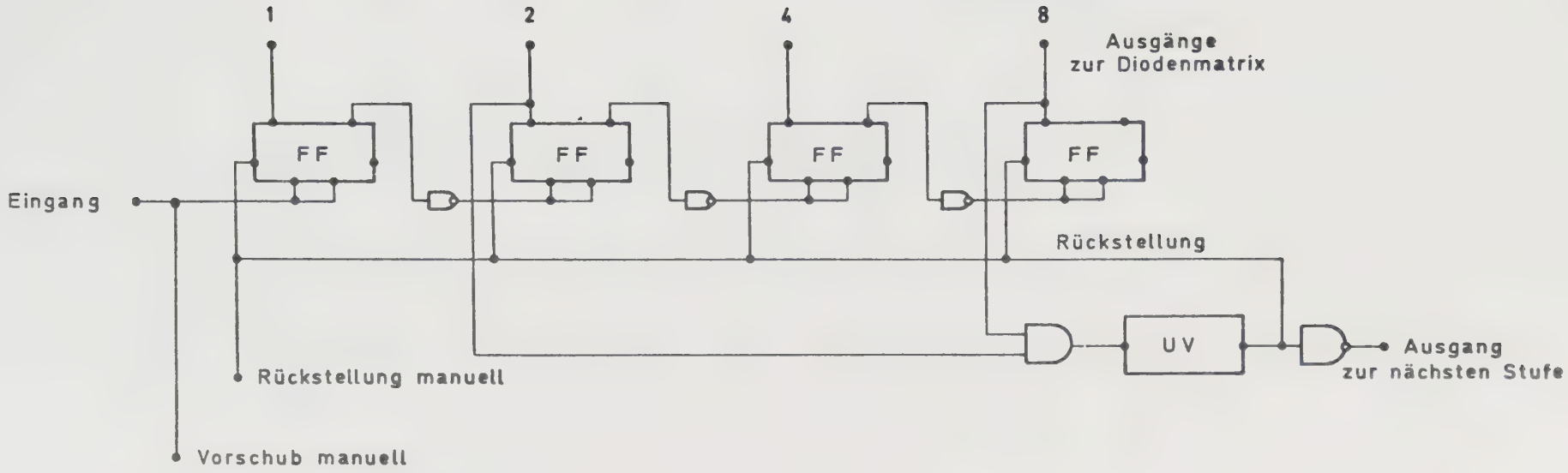


Fig. 6 Uhrendekade

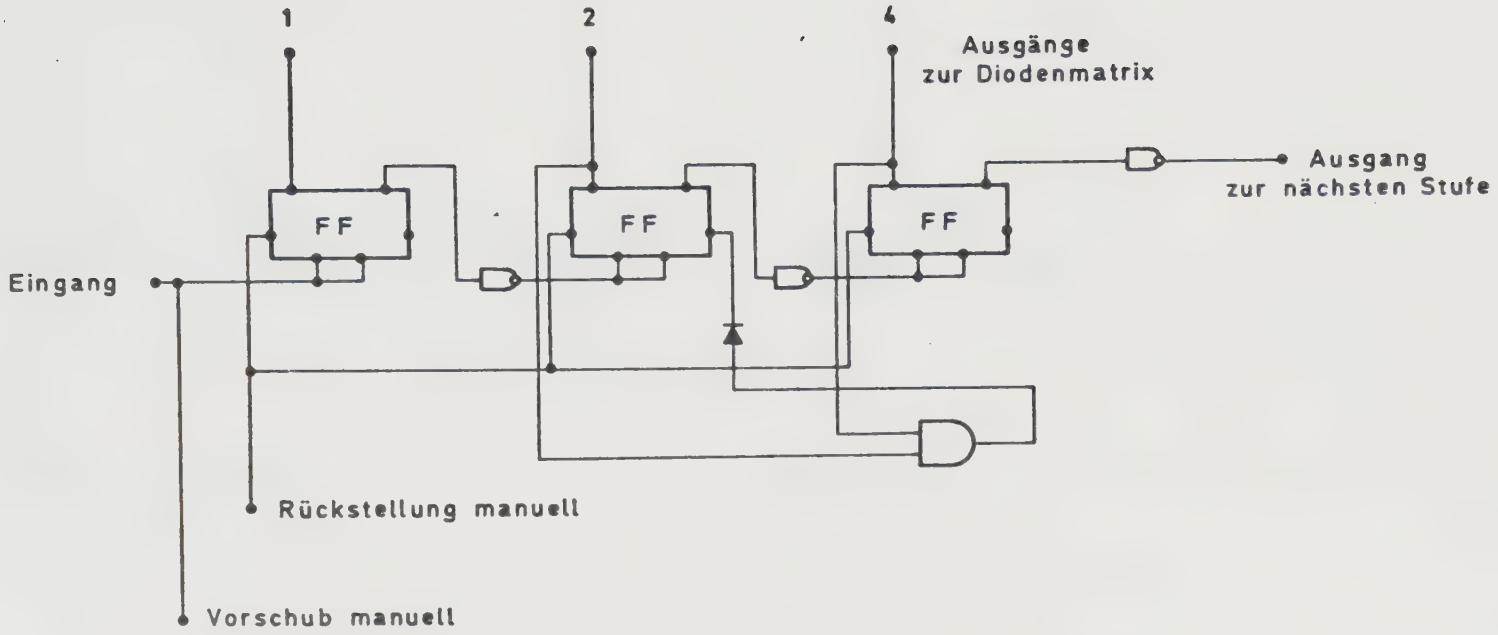


Fig. 7 Uhrenhexade

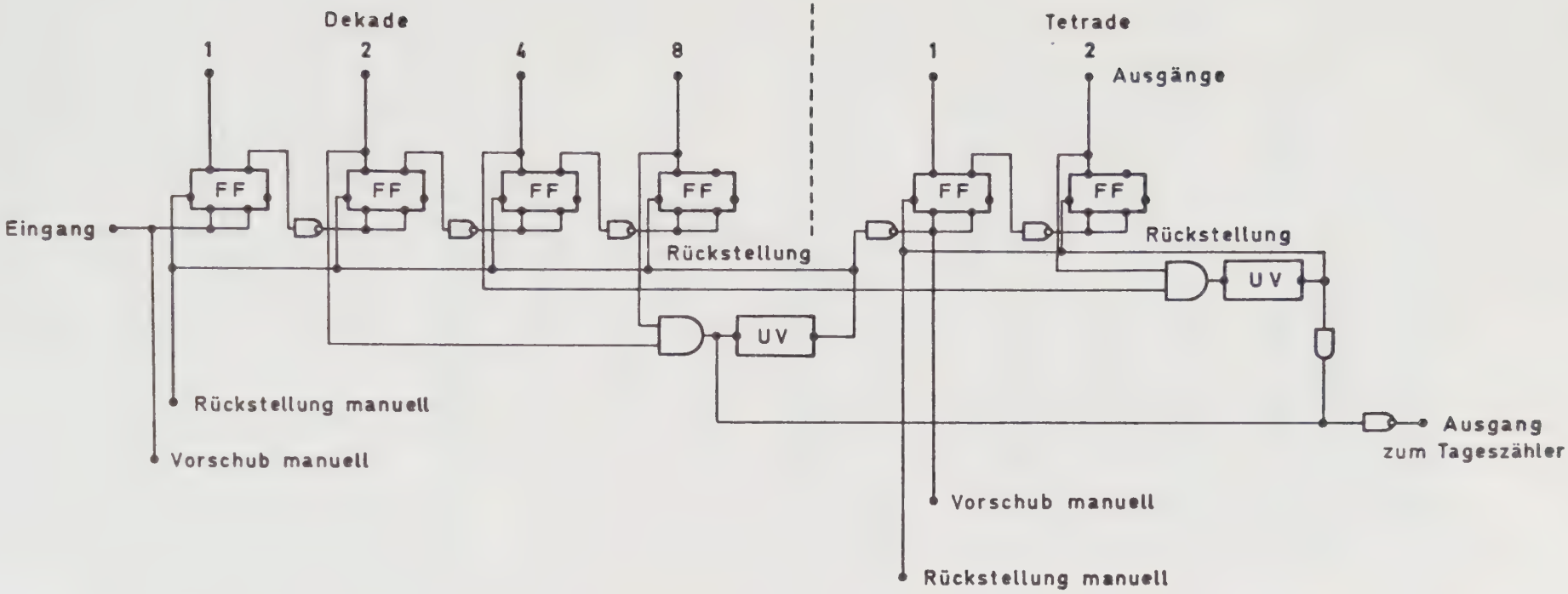


Fig. 8 Stundenuntersetzer

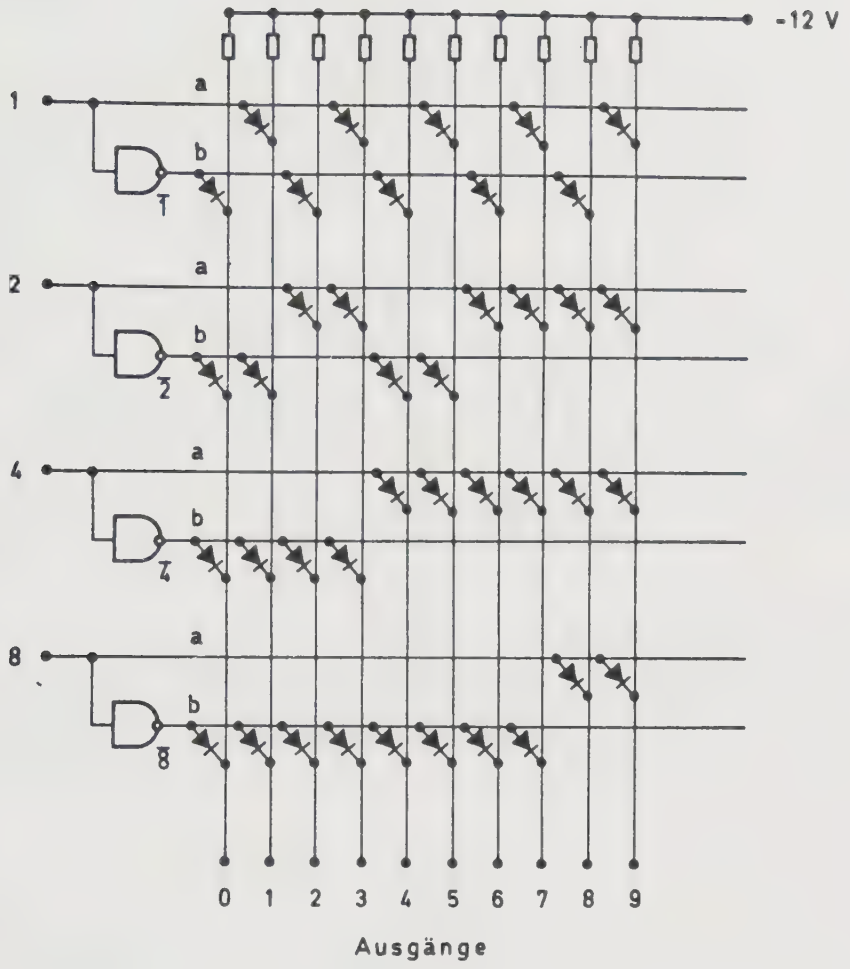


Fig.9 Diodenmatrix Uhr

Am Eingang wie am Ausgang entspricht dabei die binäre O dem Potential OV, die binäre I einem Potential von etwa - 8V. Die zehn Ausgänge der zehn Stellen werden über hundertadrige Kabel dem Gerät für die Auslesung der Uhr und der visuellen Anzeige zugeführt. Diese erfolgt mit zehn "NLS Visual Displays", deren einzelne Ziffern über einen Transistor von den Ausgängen der Diodenmatrizen angesteuert werden. Da jede einzelne Stelle der Zeitangabe mit einer Drucktaste zurückgestellt oder um eine Einheit vorgeschoben werden kann, ist mit der visuellen Anzeige eine einfache Synchronisation der Uhr möglich.

Die Speisung der Quarzuhr und der Untersetzer erfolgt über Akkumulatoren, die durch das Netz aufgeladen werden. Dadurch können Strompannen bis zu 24 Stunden überbrückt werden.

2.1.3.3 Digitaler Barometer

Für die Druckregistrierung wird der digitale Servobarometer Typ IQSY-581-CM-8 der Exactel Instrument Company benützt [2]. Er gestattet es, den Druck mit einer Genauigkeit von 10^{-1} mm Hg auszulesen. Dazu wird an den Eingang der verlangten Stelle ein Potential angelegt, worauf dieses über Schleifkontakte an einem der zehn Ausgänge erscheint. Die 55 Anschlüsse, ein Eingang und zehn Ausgänge für jede der fünf Stel-

len (10^{-1},10^{0},10^{1},10^{2},10^{3} mm Hg) werden auf einen 55-poligen Stecker herausgeführt. Für unsere Zwecke werden alle Ausgänge der gleichen Ziffer verbunden (Fig. 10). Ueber vier Drähte werden dann die für Jungfraujoch signifikanten Stellen gestaffelt angerufen.

2.1.4 Aufbau der Read-out-Anlage

2.1.4.1 Allgemeines

Das Auslesen der Registriergeräte wird durch das Kommandogerät (Abschnitt 2.1.4.2) organisiert, das alle Minuten von der Quarzuhr einen Steuerbefehl erhält. Jeder dieser Befehle löst zuerst eine Reihe von Kommandos für die Schreibmaschine und den Locher aus. Dann folgt der eigentliche Auslesebefehl für das entsprechende Read-out-Gerät (Abschnitt 2.1.4.3), worauf die zugehörige Apparatur stellenweise ausgelesen wird. Dabei wird jeweils der Wert der angerufenen Stelle an die Eingangsschaltungen für Schreibmaschine und Locher (Abschnitt 2.1.4.4) weitergegeben und dort so umgeformt, dass er festgehalten werden kann.

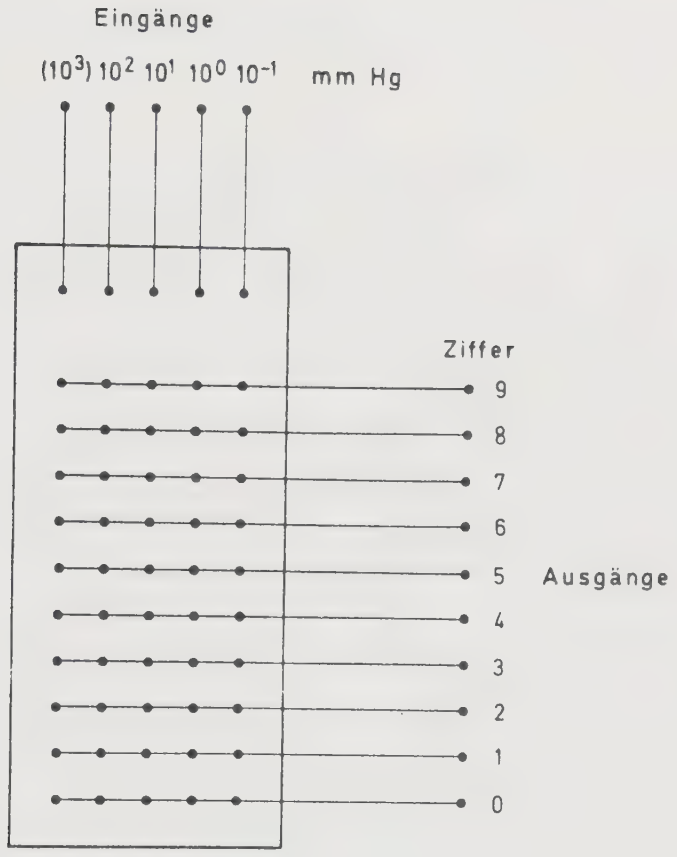


Fig.10 Anschlussplan zur Barometerauslesung

2.1.4.2 Das Kommandogerät

Der Aufbau des Kommandogeräts ist in Fig. 11 dargestellt.

Der Minutenimpuls der Quarzuhr, der durch eine Drucktaste simuliert werden kann, betätigt über den Schmidt-Trigger die Kippstufe KA. Dadurch wird das Undtor U1 geöffnet, sodass die 5-Hz-Impulse, die über einen Untersetzer der Quarzuhr entnommen werden, in die Hexade H1 gelangen. Die ersten fünf Schritte dieser Hexade werden dazu benützt, den Locher in die Stellung für Zeichenempfang zu bringen. Der sechste Schritt schiebt die Hexade H2 um eine Position vor, stellt Kippstufe KA zurück und schaltet Kippstufe KB um. Dadurch werden über das Undtor U2 5-Hz-Impulse der Hexade H3 zugeführt. Die sechs Ausgänge der Hexade H2 und drei Ausgänge von H3 führen auf eine Matrix von 18 Zweifach-Undtoren, deren Ausgänge die Eingangsschaltungen von Schreibmaschine und Locher und die Read-out-Geräte ansteuern (Tab. 1). Dabei müssen die Steuerbefehle für die Eingangsschaltungen durch Schreibbefehle (erzeugt in einem System von Undtoren, Odertoren und Univibratoren) bestätigt werden, was einerseits die Betriebssicherheit erhöht und andererseits die Kontrollen erleichtert.

Aus Fig. 11 ist ersichtlich, dass jede sechste Minute die Auslesung übersprungen wird. Die erteilten Befehle dienen lediglich der Datenübermittlung nach Bern (Zeilenvorschub und Wagenrücklauf für Telexstation).

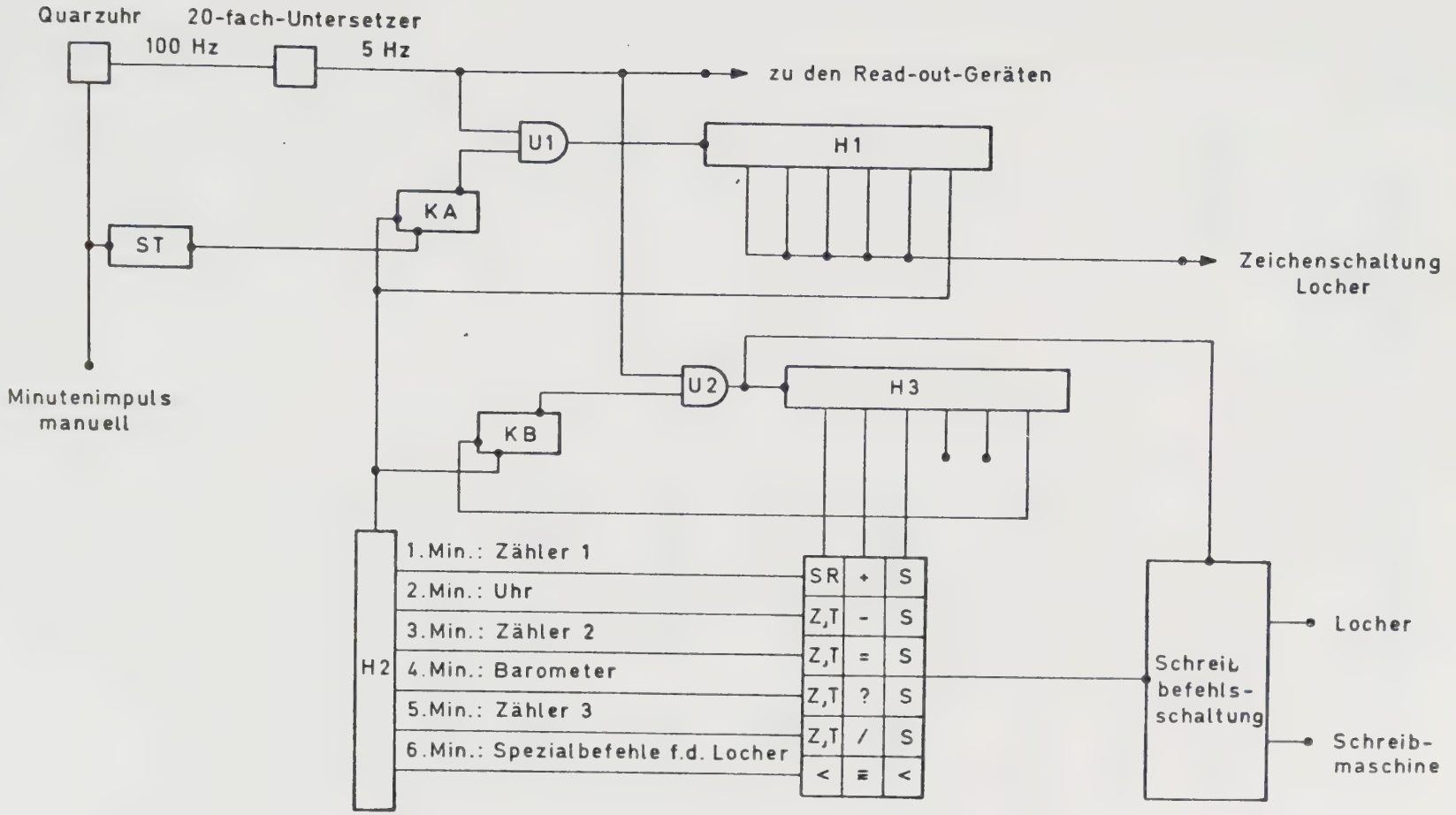


Fig.11 Blockdiagramm des Kommandogerätes

Tab. 1 Steuerbefehle des Kommandogerätes

Zeichen	Bedeutung
Z	Zwischenraum für den Locher
T	Tabulator Schreibmaschine
SR	Schreibkopfrücklauf und Zeilenschaltung Schreibmaschine
+	Zeichen für Zähler 1
-	Zeichen für Uhr
=	Zeichen für Zähler 2
?	Zeichen für Barometer
/	Zeichen für Zähler 3
≡	Zeilenvorschub für Telex Bern
<	Wagenrücklauf für Telex Bern
S	Startbefehl für das zugehörige Read-out-Gerät

Der letzte Schritt der Hexade H3 wird dazu benützt, die Kippstufe KB zurückzustellen, worauf das Kommandogerät für die nächste Auslesung bereit ist.

2.1.4.3 Die Read-out-Geräte

Das stellenweise Auslesen der Zähler, des Barometers und der Uhr wird durch Read-out-Geräte gesteuert, deren Funktionsweise allgemein in Fig. 12 dargestellt ist. Der Startbefehl aus dem Kommandogerät stellt die Eingangskippstufe EK um, worauf die jedem Read-out-Gerät zugeführten 5-Hz-Impulse in einen Untersetzer mit Torschaltungen gelangen. Deren Ausgänge geben der Reihe nach den auszulesenden Stellen den Shiftbefehl. Dieser bewirkt, dass der Stand der angerufenen Stelle an das Read-out-Gerät und nach einer eventuellen Umformung in dezimale Form an die Eingangsschaltungen des Lochers und der Schreibmaschine weitergegeben wird. Damit der betreffende Wert auch geschrieben wird, muss über die Schreibbefehlsschaltung der Schreibbefehl erteilt werden. Der letzte Schritt des Untersetzers mit Torschaltungen stellt über einen Univibrator alle Kippstufen zurück.

Die speziellen Schaltungen der Read-out-Geräte für Zähler, Barometer und Uhr sind aus den Fig. 13 - 16 ersichtlich.

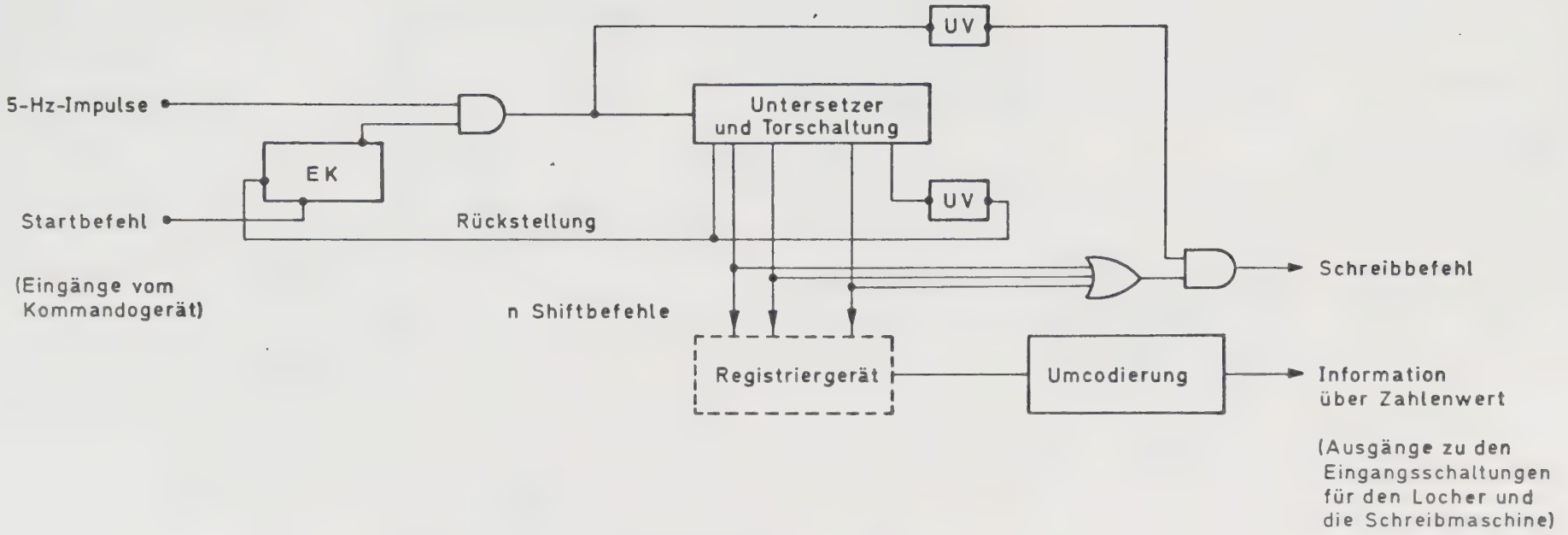


Fig.12 Allgemeine Funktionsweise der Read-out-Geräte

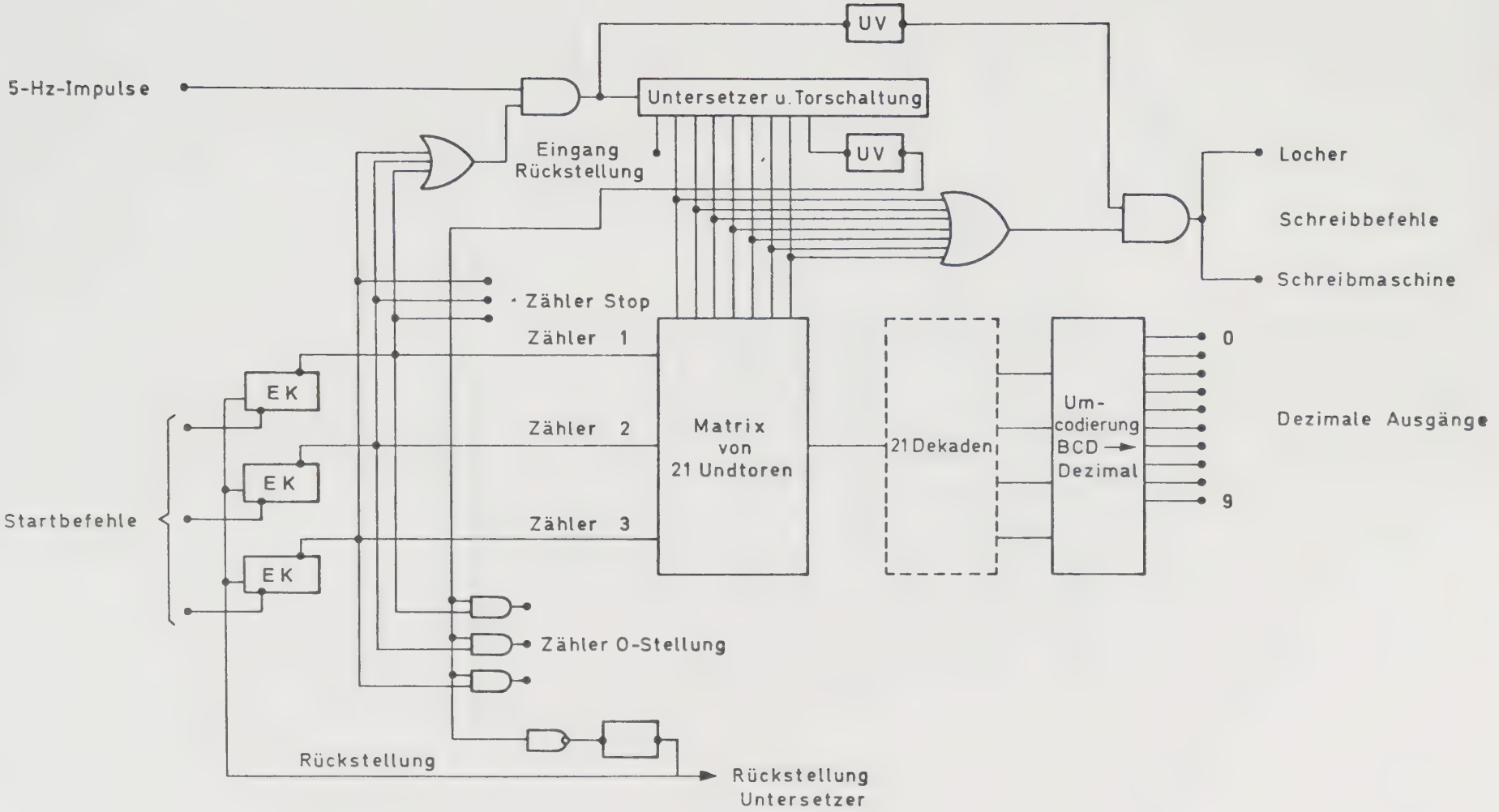


Fig.13 Read-out-Zähler

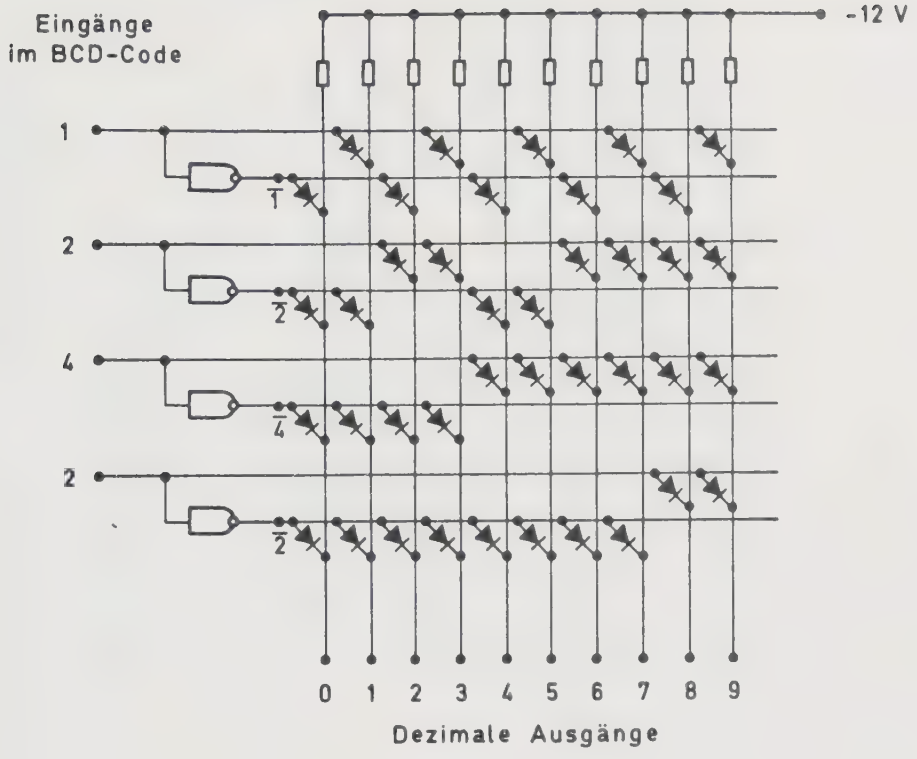


Fig.14 Umcodierung des Zähler-BCD-Codes in dezimale Form

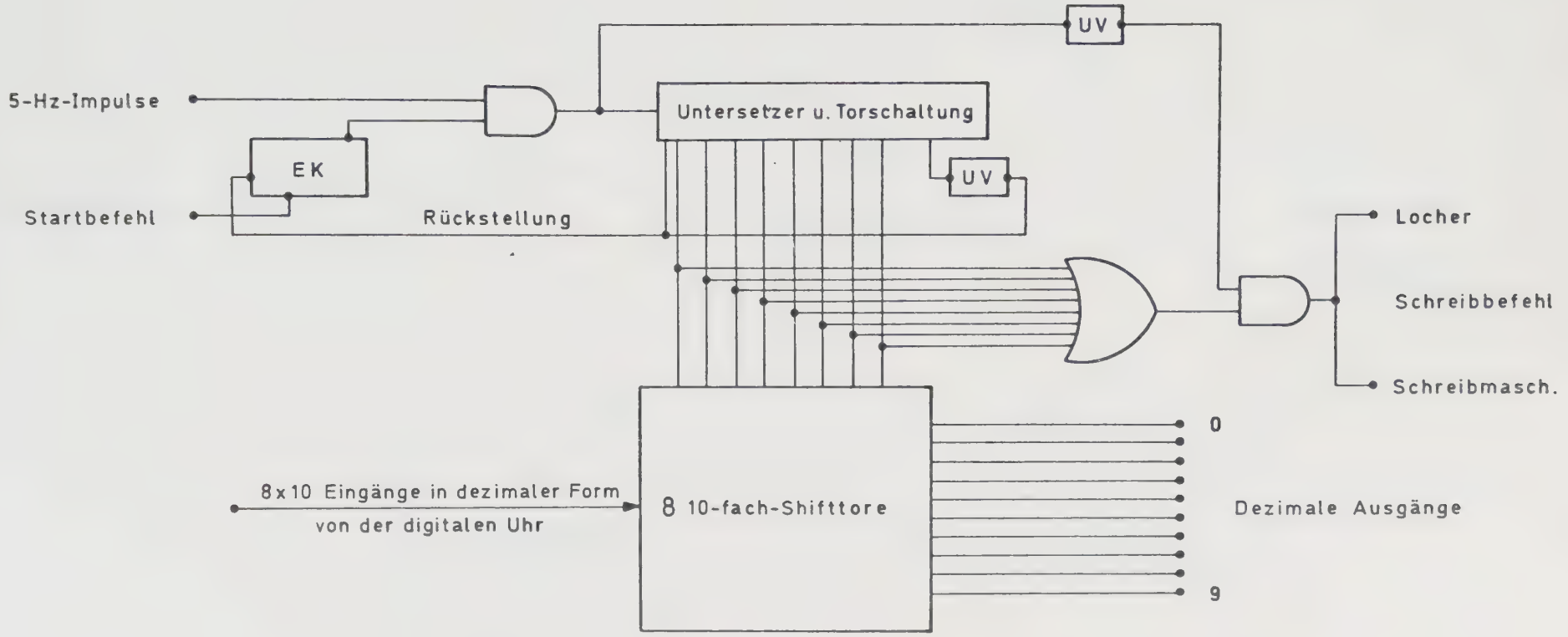


Fig.15 Read-out-Uhr

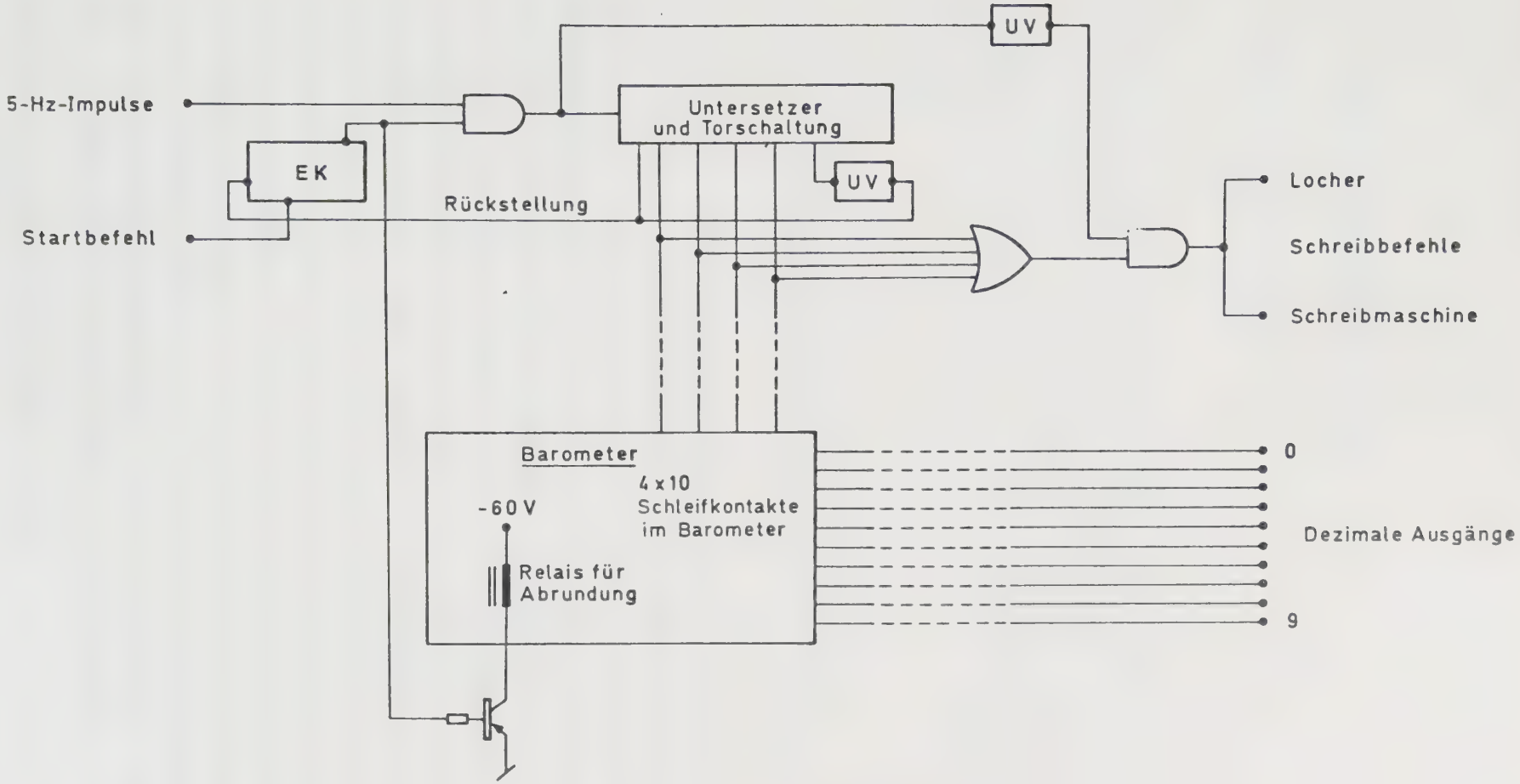


Fig.16 Read-out-Barometer

2.1.4.4 Eingangsschaltungen

2.1.4.4.1 Allgemeines

In den Eingangsschaltungen werden die Steuerbefehle und Informationssignale des Kommandogeräts und der drei Read-out-Geräte umcodiert und nach dem Schreibbefehl an Locher und Schreibmaschine weitergeleitet. Für Testzwecke können sämtliche Befehle simuliert werden.

2.1.4.4.2 Datenausgabe mittels Lochstreifen

In Fig. 17 wird schematisch dargestellt, wie Zeichen und Zahlen in den entsprechenden Diodenmatrizen (Fig. 18 und 19) für den Telex umcodiert und im Parallel-Serien-Konverter (Fig. 20) in ein Seriensignal umgewandelt werden. Die einzelnen Informationen werden dann dem T-Loch 15F in einem Anlaufschritt, fünf Zeichenschritten und einem Sperrschritt zugeführt (Fig. 21). Im Parallel-Serien-Konverter wird vorerst ein Univibrator mit einer Totzeit von 180 msek angesteuert. Damit wird eine Reihe von sechs Univibratoren, die alle eine Totzeit von 20 msek aufweisen, betätigt. Der erste Univibrator liefert den Anlaufschritt und die fünf nächsten öffnen der Reihe nach die Undtore U1 - U5 für die Zeichenschritte. Da die gesamte Datenausgabe durch 5-Hz-Impulse gesteuert wird, ergibt sich automatisch ein Sperrschritt von 80 msek.

Ein Ausschnitt eines Lochstreifens wird in Fig. 22 gezeigt.

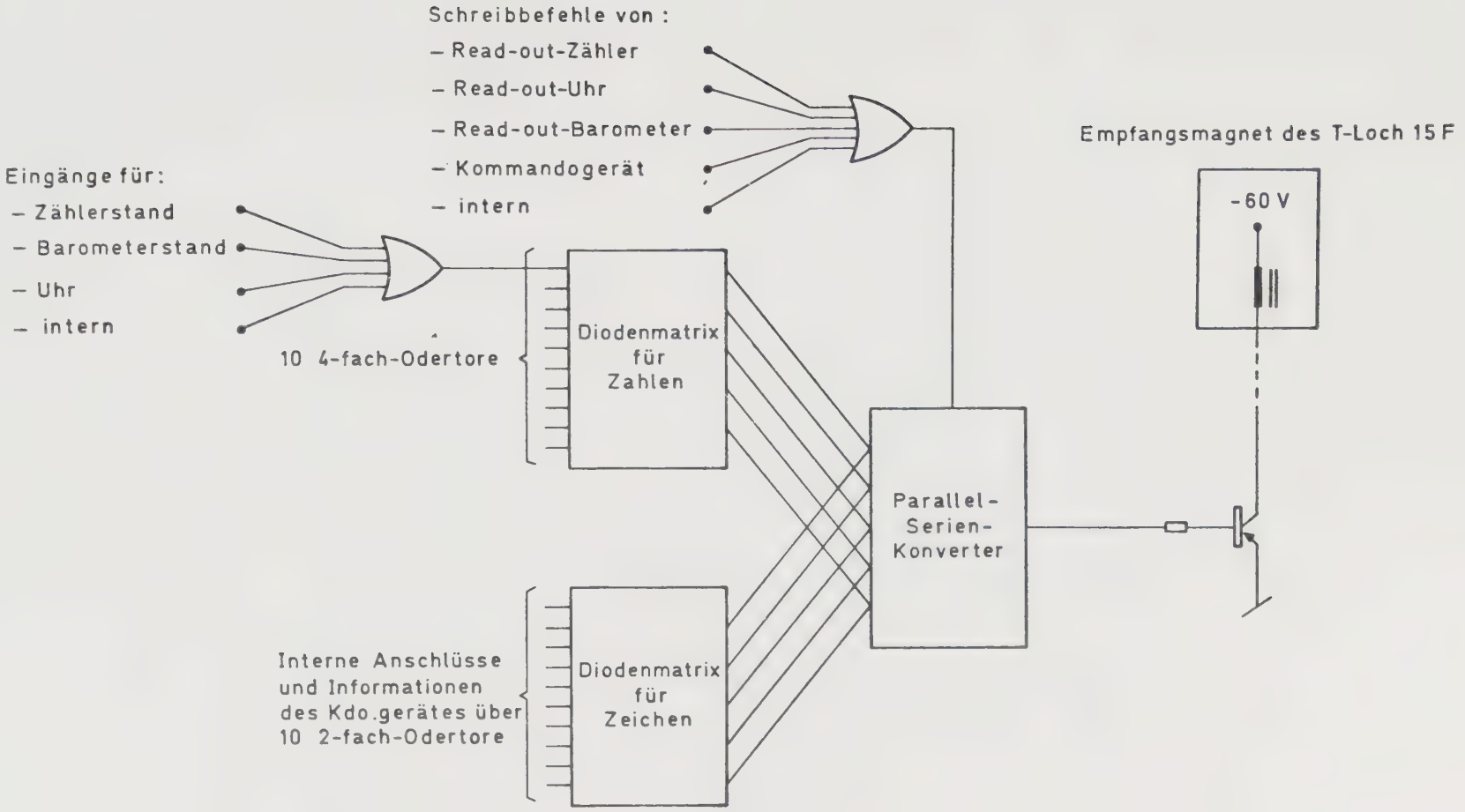


Fig.17 Schema der Eingangsschaltung für den T-Loch 15F

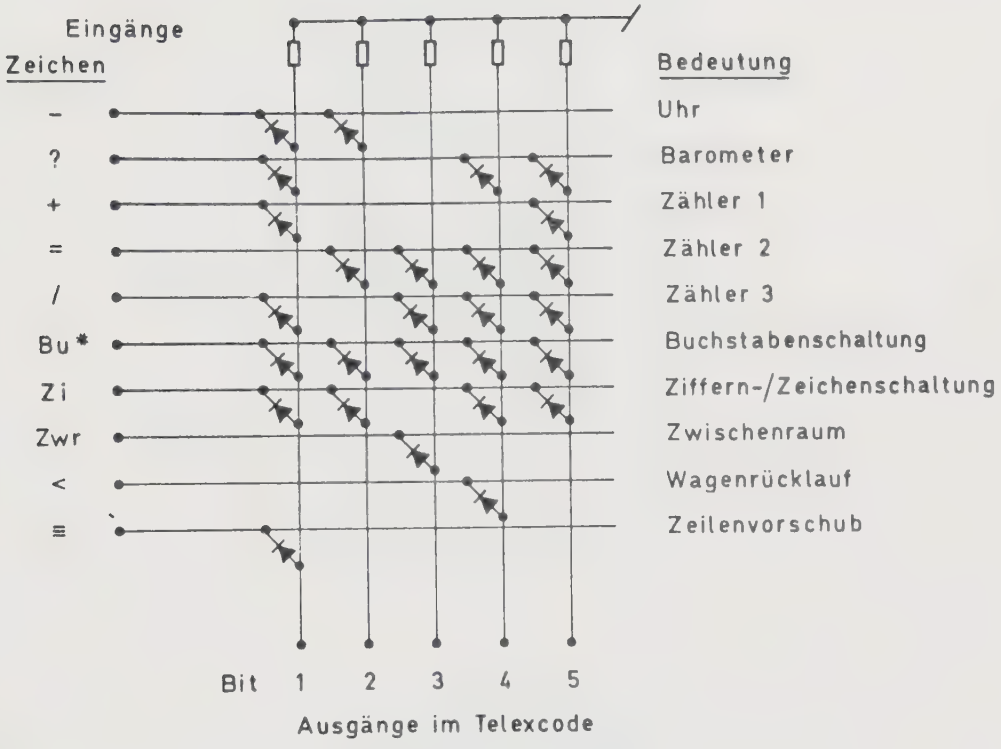
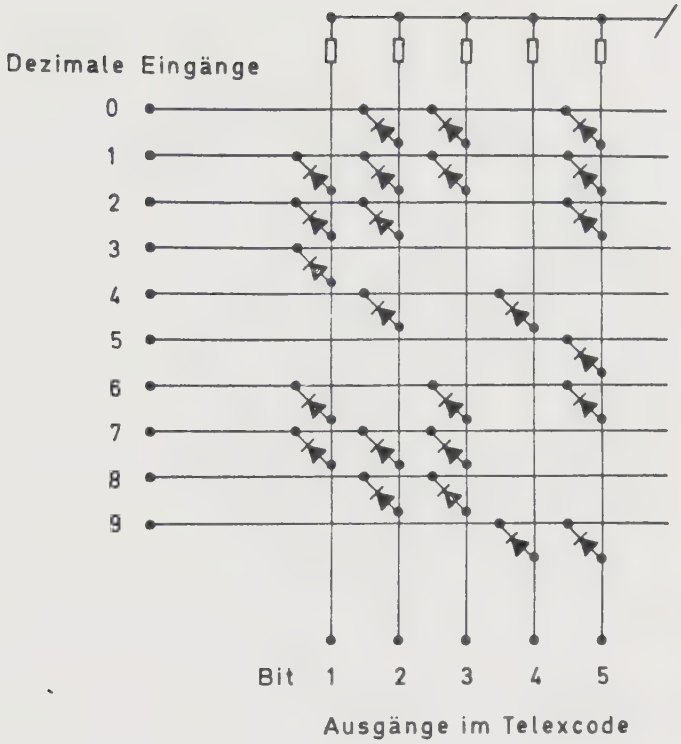


Fig.18 Diodenmatrix für Zeichen



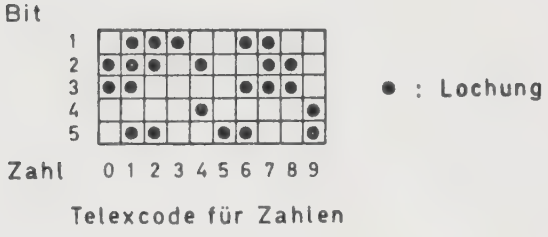


Fig.19 Diodenmatrix und Telexcode für Zahlen

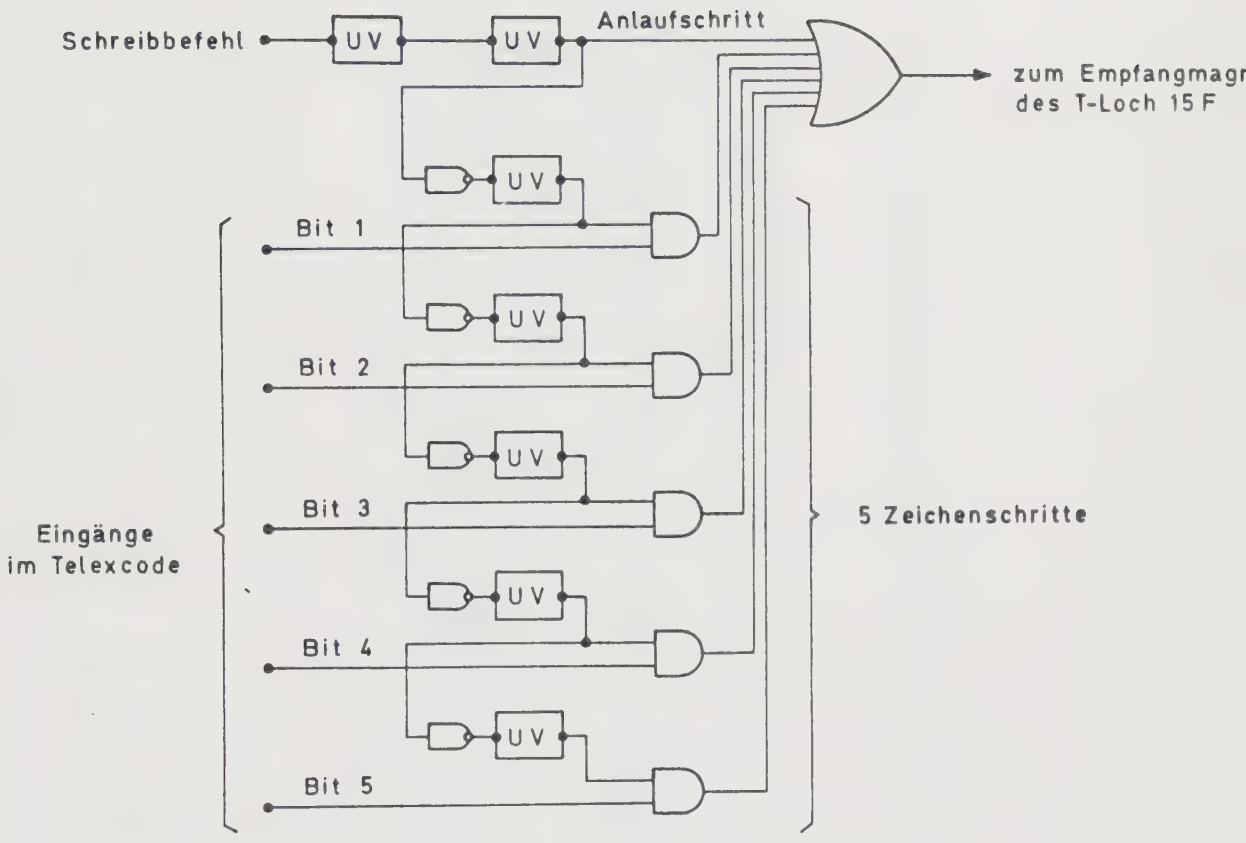


Fig. 20 Logik des Parallel-Serien-Konverters

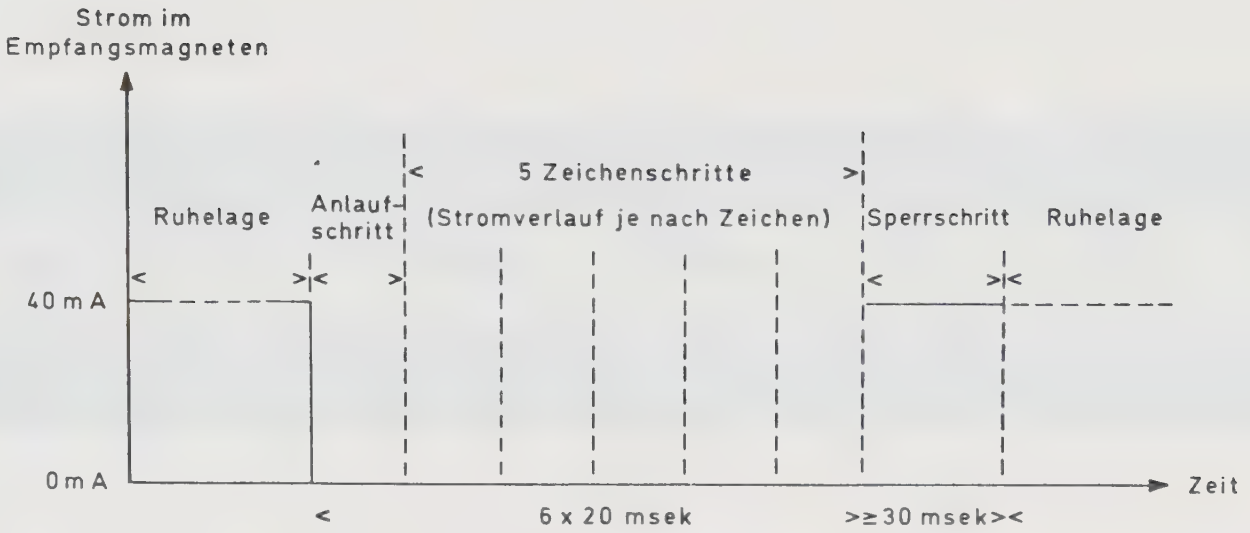


Fig. 21 Schematische Darstellung des Stromverlaufes im Empfangsmagneten

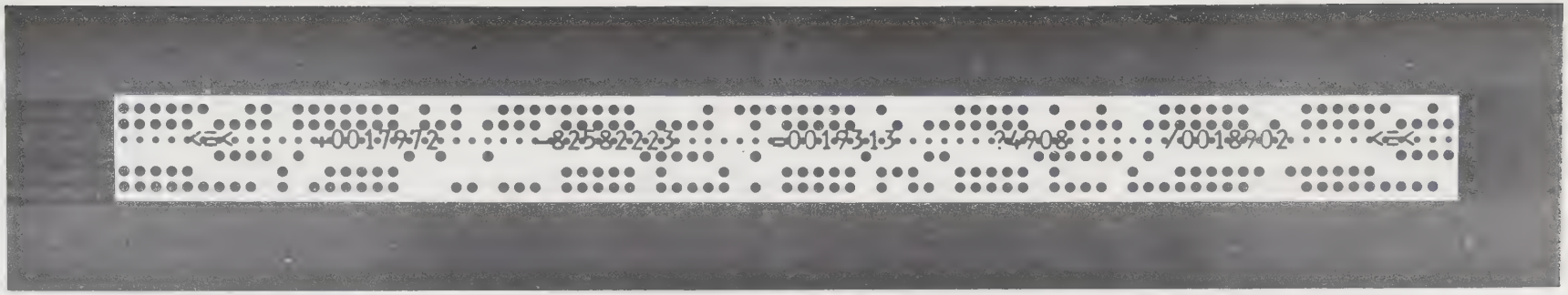


Fig.22 Ausschnitt aus einem Registrierstreifen

2.1.4.4.3 Datenausgabe mittels Schreibmaschine

Mit dem IBM Input-Output-Writer 731 werden die Auslesungen auch tabelliert. Dadurch gehen bei Pannen des Lochers keine Informationen verloren.

Fig. 23 zeigt, wie die Zahlen in einer Diodenmatrix (Fig. 24) in den Schreibmaschinencode übersetzt werden und auf den Schreibbefehl hin über die Zweifach-Undtore und die Leistungsunivibratoren an die Magnete der Schreibmaschine weitergegeben werden.

Tabulator und Schreibkopfrücklauf mit Zeilenvorschub werden durch spezielle Relais ausgelöst, die auf Befehl des Kommandogeräts über zwei Leistungsunivibratoren angesteuert werden.

2.1.5 Datenübermittlung

Die auf Lochstreifen gespeicherten Daten können auf Abruf über das Telexnetz der PTT nach Bern übermittelt werden. Dazu wird die Telexstation Jungfraujoch angerufen und das Codewort "ssss" oder ",,,," eingestellt. Dieses bewirkt, dass über ein zum Telex gehörendes Kontaktgerät der Sendekreis des T-Loch 15F in das Telexnetz eingeschaltet wird und die seit der letzten Uebertragung ausgelesenen Daten an die anrufende Station übermittelt werden (Fig. 25).

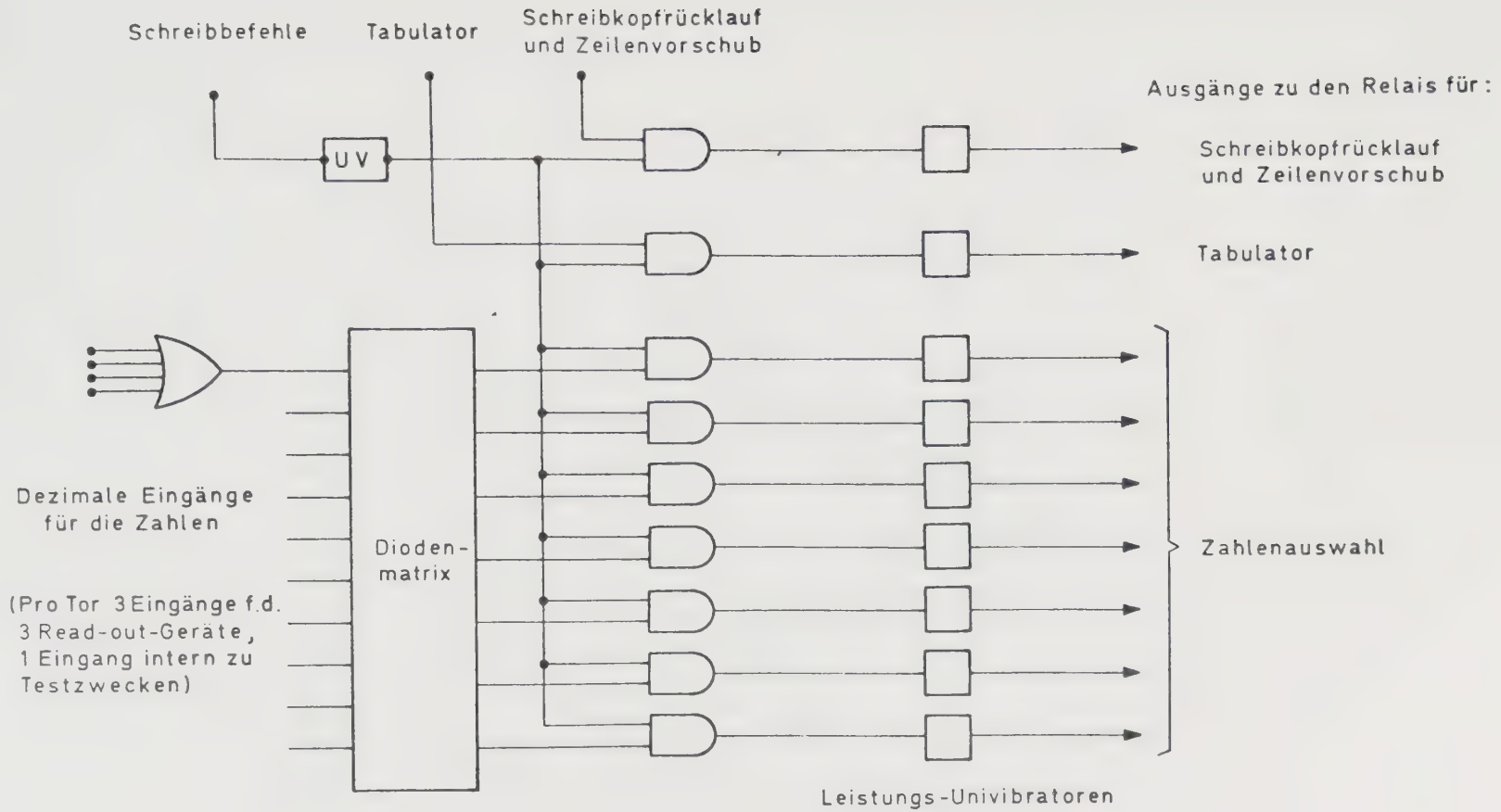


Fig.23 Schema der Eingangsschaltung für den IBM Input-Output-Writer 731

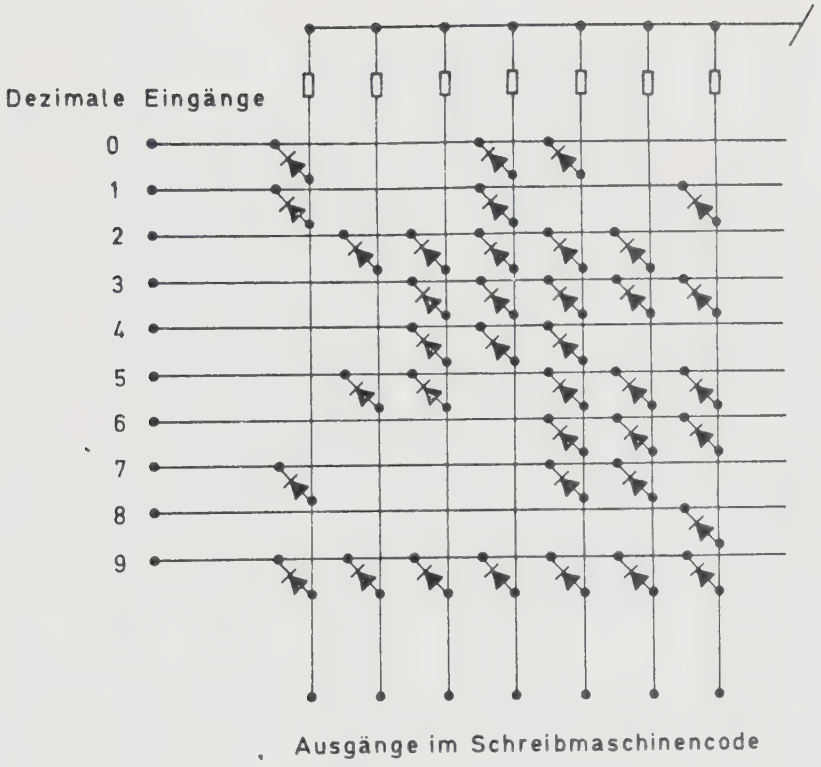


Fig.24 Umformung der Dezimalzahlen in den Schreibmaschinencode

```
32347 metju ch
32320 phybe ch


ssss
+0017895 -82361448 =0018853 ?4942 /0018563
+0017970 -82361454 =0018646 ?4942 /0018974
+0017881 -82361500 =0018765 ?4943 /0018767
+0018003 -82361506 =0018910 ?4940 /0018432
+0017500 -82361512 =0018543 ?4941 /0018729
+0017729 -82361518 =0019178 ?4942 /0018501
+0017733 -82361524 =0018813 ?4942 /0018593
+0017737 -82361530 =0018699 ?4943 /0018316
+0017694 -82361536 =0018880 ?4944 /0018428
+0017701 -82361542 =0018404 ?4943 /0018654
+0017744 -82361548 =0018861 ?4944 /0018902
+0017870 -82361554 =0019037 ?4944 /0018535
+0017772 -82361600 =0018480 ?4943 /0018647
+0018064 -82361606 =0018589 ?4944 /0018764
+0017888 -82361612 =0018720 ?4944 /0018668
+0017973 -82361618 =0018953 ?4945 /0018362
+0017838 -82361624 =0018712 ?4945 /0018511
+0017962 -82361630 =0018595 ?4945 /0018594
+0017806 -82361636 =0018598 ?4946 /0018514
+0017561 -82361642 =0018522 ?4946 /0018289
+0017632 -82361648 =0018922 ?4946 /0018608
+0017449 -82361654 =0018791 ?4946 /0018450
+0017765 -82361700 =0018625 ?4947 /0018409
+0018013 -82361706 =0018595 ?4947 /0018485
+0017762 -82361712 =0018881 ?4948 /0018829
+0017526 -82361718 =0018872 ?4949 /0018669
+0017649 -82361724 =0018563 ?4949 /0018538
+0017677 -82361730 =0018917 ?4948 /0018818
```

Fig.25 Beispiel übermittelter Daten

Die Sendegeschwindigkeit beträgt 50 Baud (6.66... Zeichen pro sek). Deshalb dauert die Uebermittlung der Registrierungen eines Tages ca. 45 min . Ist die Uebertragung beendet, schaltet der Locher automatisch ab und unterbricht die Telexverbindung.

2.1.6 Probleme und Möglichkeiten einer automatischen Messstation

Als 1965 mit dem Neubau der Zählanlage und der Datenausgabe begonnen wurde, war die Technik der integrierten Schaltungen noch nicht besonders entwickelt. Heute könnte die ganze Anlage, mit Ausnahme der Leistungsstufen, mit diesen logischen Bausteinen wesentlich billiger und raumsparender gebaut werden als mit diskreten Elementen. Die Logik würde aber grundsätzlich beibehalten.

Wird in der neuen Read-out-Anlage der T-Loch 15F in gebräuchlicher Weise betrieben, d.h. etwa zehn Sekunden nach jeder Auslesung abgestellt, so würden zu Beginn jeder Auslesung ein oder zwei nichtdefinierte Zeichen gestanzt. Dadurch würden die Verarbeitung der Lochstreifen durch den Computer und die Kontrolle der nach Bern übermittelten Daten erschwert. Wir haben deshalb den Locher im 24-Stundenbetrieb eingesetzt. Dies ergibt aber Wartungsschwierigkeiten, die zur Zeit in Zusammenarbeit mit der PTT untersucht werden (spezielle Schmierung, spezielle Konstruktionen für Kupplungen und Lager).

Nach unseren bisherigen Erfahrungen eignet sich die beschriebene Anlage, nach geeigneter Anpassung, auch für den Betrieb eines Netzes unbemannter Messstationen. Einsatzmöglichkeiten würden sich demnach in der Meteorologie, bei der Wasserstandsüberwachung und bei der Messung der Luftradioaktivität im Kriegsfall ergeben.

2.2 Automatische Datenauswertung

2.2.1 Erste Auswertung am Jungfraujoch

Eine erste Auswertung der auf Lochstreifen gespeicherten Daten geschieht auf der Honeywell-Rechenanlage DDP-224, die durch das "Institut d'Astrophysique" der Universität Liège (Belgien) am Jungfraujoch installiert worden ist. Dabei werden die Sechsminutenwerte der drei Sektionen und des Barometers gelesen, zeitlich geordnet und für eventuelle spätere Analysen auf Magnetband festgehalten. Auch werden die Stundenwerte der drei Zählraten und des Barometerstandes gebildet und zur Kontrolle tabelliert. Weiter wird die Summe der drei Zählraten auf den Standarddruck p_o = 482 mm Hg umgerechnet und aufgezeichnet. Auf Grund der Tabellen und der Zeichnungen können eventuelle Fehler ermittelt und korrigiert werden. Darauf werden die Stundenmittel der drei Zählraten und des Barometers zur weiteren Verarbeitung auf Magnetband übertragen.

Fig. 26 zeigt den Ablauf der beschriebenen Operationen: Normalerweise werden Monatsintervalle bearbeitet. Dazu müssen dem Computer das Jahr und der Monat von Hand eingegeben werden, worauf die Papierbänder in beliebiger Reihenfolge gelesen werden können. Die Sechsminutenwerte werden zeitlich geordnet und auf Disk gespeichert. Der Computer sucht dabei zusammenhängende Gruppen von Werten für Zähler 1, Uhr, Zähler 2, Barometer und Zähler 3 . Er sucht zuerst das Zeichen für den Zähler 1 (gleich +), speichert den nachfolgenden Wert, sucht dann die Uhr usw. Die so gefundenen Werte werden nach folgendem System geordnet: Jedem Tag entspricht auf dem Disk eine Piste, deren Adresse aus dem Datum berechnet wird. Auf jeder Piste stehen 960 Speicherplätze für die je 240 Sechsminutenwerte der drei Zähler und des Barometers zur Verfügung. Die Adresse der Speicherplätze setzt sich zusammen aus einer Grundadresse und einem COMP-Wert:

$$\text{Adresse} = \text{Grundadresse} + \text{COMP}$$

Der COMP-Wert beträgt

für	Zähler 1	:	COMP	= 0
	Zähler 2	:	COMP	= 1
	Zähler 3	:	COMP	= 2
	Barometer	:	COMP	= 3

Die Grundadresse wird aus der Tageszeit nach

$$40 \times \text{Stundenzahl} + 4 \times \frac{\text{Minutenzahl}}{6}$$

(abgerundet auf die nächste ganze Zahl) berechnet.

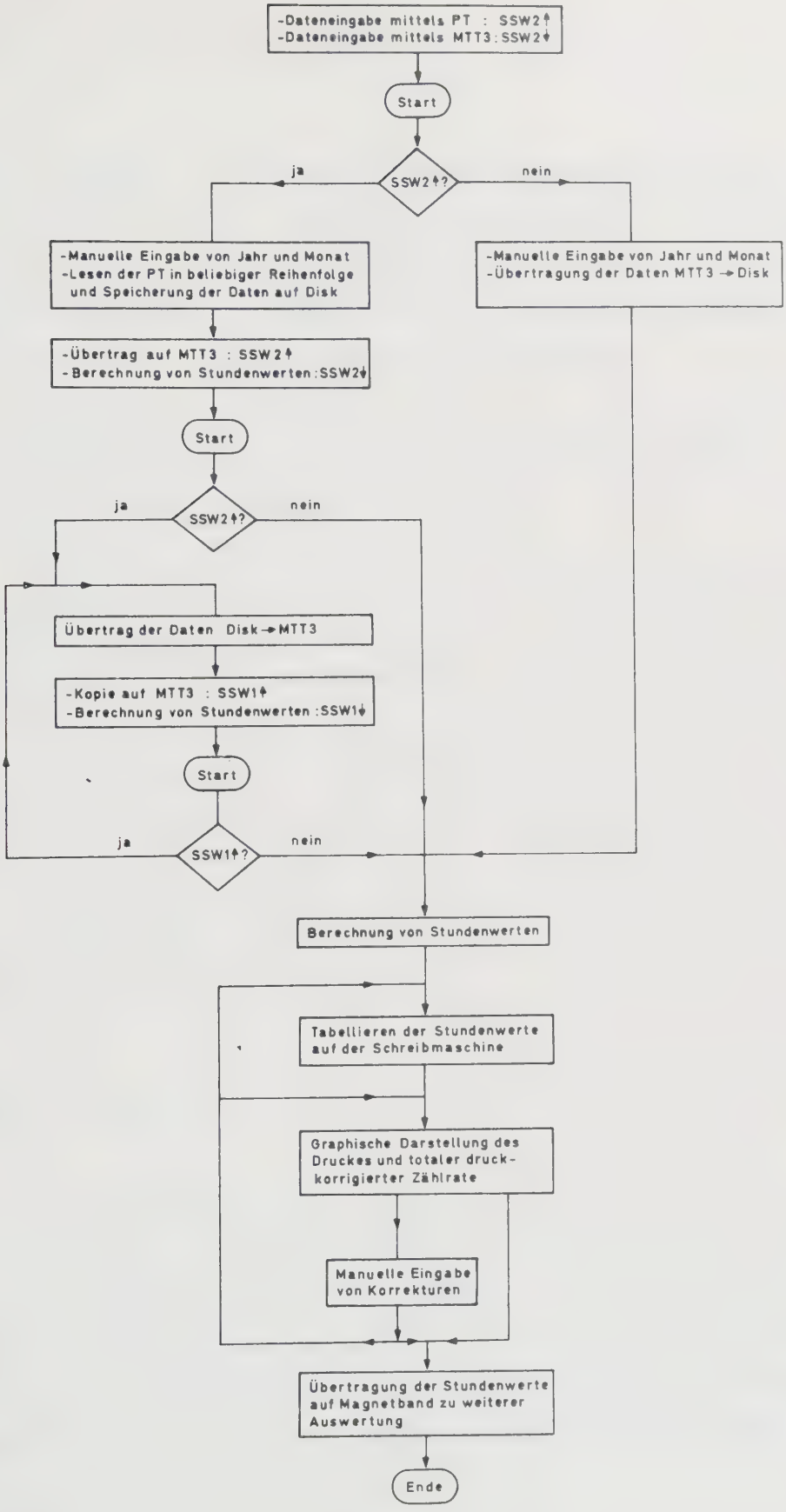


Fig.26 Flussdiagramm zur Übertragung der Sechsminutenwerte auf Magnetband und Berechnung von Stundenwerten

Damit ergeben sich die 240 Grundadressen für jeden Tag, wobei innerhalb jeder Grundadresse vier Plätze für die Zähler und den Barometer vorhanden sind. Zur Illustration ist in Fig. 27 das Flussdiagramm für die Zuweisung der Sechsminutenwerte angeführt.

Die derart geordneten Sechsminutenwerte werden auf Magnetband übertragen und aufbewahrt. Dabei können verschiedene Kopien hergestellt werden.

Mit den auf Disk gespeicherten Daten werden anschliessend Stundenwerte berechnet. Für die Zähler sind dies die Summen der Sechsminutenwerte, für den Barometer der mittlere Druck. Falls für einen Zähler weniger als zehn, aber mindestens drei Sechsminutenwerte vorhanden sind, wird der Stundenwert durch lineare Extrapolation auf zehn Sechsminutenwerte gebildet. Diese Stundenwerte werden in den zur Kontrolle herausgedruckten Tabellen speziell markiert. Die Summe der drei Zählraten, $N_i(t)$, wird dann nach der Formel

$$N_{tot}^{korr}(t) = \left(N_1(t) + N_2(t) + N_3(t)\right) e^{\alpha\left(p_o - p(t)\right)} \qquad (2.1)$$

auf den Standarddruck p_o umgerechnet und mit dem Druckverlauf, $p(t)$, aufgezeichnet (α : Barometerkoeffizient). Sind aus dem Journal, den Tabellen oder den graphischen Darstellungen Fehler ersichtlich (Eichung, apparative Störungen), werden die falschen Stundenwerte entweder gelöscht oder an Hand der Schreibmaschinendaten korrigiert.

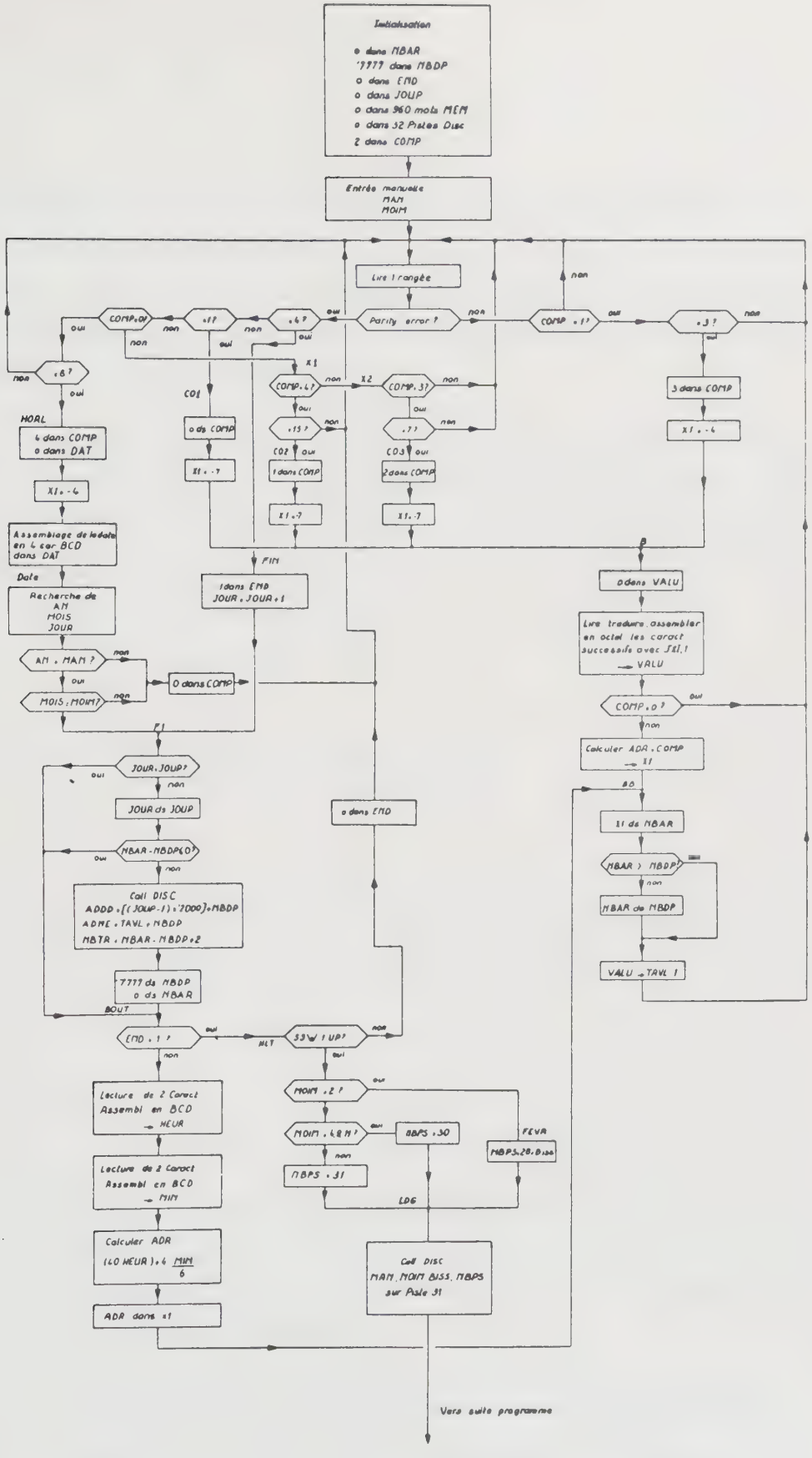


Fig. 27 Flussdiagramm für das Lesen der Lochstreifen und Einordnung der Sechsminutenwerte

Die Stundenwerte werden dann zur weiteren Aufarbeitung auf Magnetband übertragen. Aus Fig. 25 ist ersichtlich, dass mit SSW2↓ auch auf Magnetband gespeicherte Sechsminutenwerte zur Berechnung von Stundenwerten auf Disk übertragen werden können.

In einer späteren Phase werden Programme ausgearbeitet, die es gestatten, besondere zeitliche Schwankungen der kosmischen Strahlung an Hand der gestaffelten Sechsminutenwerte mit einem zeitlichen Auflösungsvermögen von zwei Minuten zu analysieren.

2.2.2 Verarbeitung der Stundenwerte

Mit den gewonnen Stundenwerten werden, mit kleinen Aenderungen, monatlich die gleichen Tabellen, Mittelwerte und Tagesperiodizitäten gebildet wie bis anhin (vgl. auch Debrunner [3]):

2.2.2.1 Tabelle der Druckwerte, p(t), mit Tagesmittel, Monatsmittel und mittlerer Tagesperiodizität.

2.2.2.2 Je eine Tabelle der Stundenwerte der einzelnen unkorrigierten Zählraten $N_i(t)$ und der Summe der unkorrigierten Zählraten $\sum_i N_i(t)$ mit Tagesmittel und Monatsmittel.

2.2.2.3 Tabellen der Verhältnisse der unkorrigierten Zählraten $\frac{N_i(t)}{N_j(t)}$ mit Tagesmittel und Monatsmittel.

2.2.2.4 Tabelle der Stundenwerte der Summe der korrigierten Zählraten $\sum_i N_i^{korr}(t)$ mit Tagesmittel, Monatsmittel und mittlerer Tagesperiodizität.

2.2.2.5 Tabelle der Zweistundenwerte der druckkorrigierten Summe der Zählraten.

2.2.2.6 Tabelle der Korrelation zwischen der unkorrigierten Summe der Zählraten und den Druckwerten.

2.2.2.7 Tabelle der relativen Abweichungen der Summe der korrigierten Zählraten von einem Standardwert

$$\frac{\sum_i \left(N_i^{korr} - N_o \right)}{N_o}$$

Die Druckkorrektur geschieht nach der Formel

$$N_i^{korr}(t) = N_i(t) \cdot e^{\alpha\left(p_o - p(t)\right)} \qquad (2.2)$$

Für grosse Abweichungen $\left(p_o - p(t)\right)$ ergeben sich damit genauere Resultate als mit der bisherigen linearen Korrelation.

Da Jungfraujoch im Gegensatz zu den meisten anderen Registrierstationen oft sehr grosse Druckschwankungen innerhalb kurzer Zeiten aufweist, wird der Barometerkoeffizient über den ganzen Monat und über einzelne Zeitintervalle mit ausgeprägten Druckänderungen bestimmt.

Dabei musste hier die Abhängigkeit von Druck und Zählrate als linear angenommen werden, da sonst nicht analytisch lösbare transzendente Gleichungen auftreten. Der Barometerkoeffizient über grosse Zeitabschnitte $\bar{\alpha}$ wird dann nach der Methode der gewichteten Mittelwerte [4] berechnet. Dabei wurde unter der Voraussetzung, dass sich der "beste Wert" $\bar{\alpha}$ durch eine Linearkombination der einzelnen Werte α_ℓ darstellen lässt

$$\bar{\alpha} = \sum_\ell a_\ell \cdot \alpha_\ell \tag{2.3}$$

$$\sum_\ell a_\ell = 1 \tag{2.4}$$

die Varianz von $\bar{\alpha}$ minimalisiert. Die Varianz des einzelnen Barometerkoeffizienten berechnet sich nach

$$V(\alpha_\ell) = \frac{\sum_{k=1}^{n} \left(N_{k\ell} - \bar{N}_\ell\right)^2}{(n-2) \sum_{k=1}^{n} \left(p_{k\ell} - \bar{p}_\ell\right)^2} \cdot \left\{ 1 - \frac{\left[\sum_{k=1}^{n} \left(N_{k\ell} - \bar{N}_\ell\right)\left(p_{k\ell} - \bar{p}_\ell\right)\right]^2}{\sum_{k=1}^{n} \left(N_{k\ell} - \bar{N}_\ell\right)^2 \sum_{k=1}^{n} \left(p_{k\ell} - \bar{p}_\ell\right)^2} \right\} \tag{2.5}$$

(Die Summation über k bedeutet die Summation über alle Stundenwerte des betrachteten ℓ-ten Intervalls).

Daraus folgt nach (2.3) für die Varianz von $\bar{\alpha}$:

$$V(\bar{\alpha}) = \sum_{\ell} a_{\ell}^2 \cdot V(\alpha_{\ell}) \qquad (2.6)$$

Durch Minimalisierung resultiert mit (2.4) für die a_{ℓ} :

$$a_{\ell} = \frac{\frac{1}{V(\alpha_{\ell})}}{\sum_{\ell} \frac{1}{V(\alpha_{\ell})}} \qquad (2.7)$$

Führen wir nun für den ℓ-ten Barometerkoeffizienten das Gewicht

$$g_{\ell} = \frac{1}{V(\alpha_{\ell})} \qquad (2.8)$$

ein, so kann (2.3) in der Form

$$\bar{\alpha} = \frac{\sum_{\ell} g_{\ell} \cdot \alpha_{\ell}}{\sum_{\ell} g_{\ell}} \qquad (2.9)$$

geschrieben werden. Dadurch wird $\bar{\alpha}$ zum gewichteten Mittelwert der einzelnen α_{ℓ} . Mit (2.6), (2.7) und (2.8) erhalten wir für die minimale Varianz:

$$V(\bar{\alpha}) = \frac{1}{\left(\sum_{\ell} g_{\ell}\right)^2} \left[\sum_{\ell} g_{\ell}^2 \cdot V(\alpha_{\ell})\right]$$

$$V(\bar{\alpha}) = \frac{1}{\left(\sum_{\ell} g_{\ell}\right)^2} \cdot \sum_{\ell} g_{\ell} = \frac{1}{\sum_{\ell} g_{\ell}} \qquad (2.10)$$

Daraus lässt sich die Grössenordnung des Fehlers von $\bar{a}$, $\Delta\bar{a}$, bestimmen:

$$\Delta\bar{a} = \pm \sqrt{V(\bar{a})} \qquad (2.11)$$

Die Tabelle der Abweichungen der Summe der druckkorrigierten Zählraten von einem Standardwert wird auf Grund der unkorrigierten Stundenwerte durch ein zweites Hauptprogramm erstellt. Dadurch kann der Barometerkoeffizient, der sich mit den primären Spektralschwankungen der kosmischen Strahlung ändert, angepasst werden. Auch kann durch die Wahl des Standardwertes eventuellen Veränderungen der Elektronik und der Zählrohre Rechnung getragen werden.

Die Auswertungen am Jungfraujoch dauern ohne Korrekturen ungefähr eine Stunde und die Verarbeitung der Stundenwerte etwa fünf Minuten.

3. Einfluss der μ-Mesonenkomponente auf IGY-Neutronen Monitor-Messungen

3.1 Multiplizitätsmessungen mit dem IGY-Neutronen-Monitor

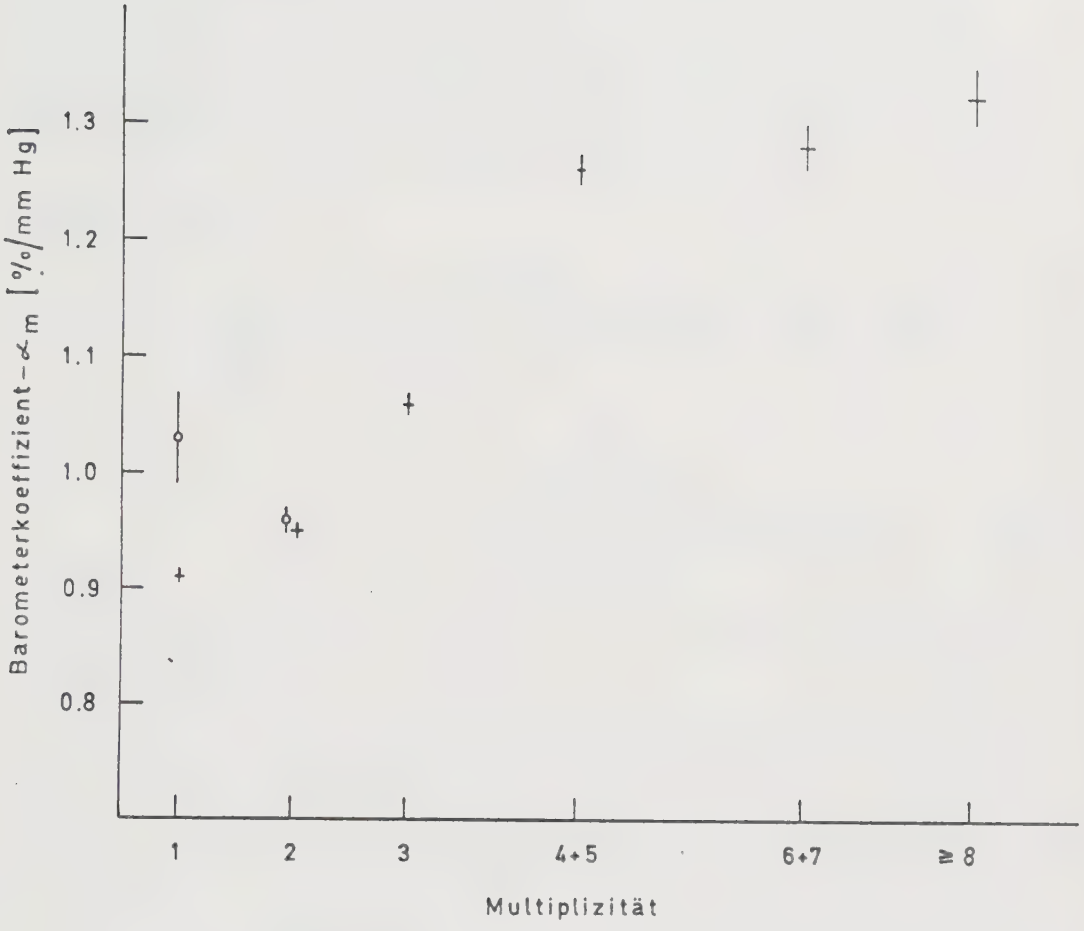
Seit Oktober 1966 ist ein Multiplizitätsmeter an der mittleren Sektion des Neutronen-Monitors am Jungfraujoch angeschlossen (Walther [4], Debrunner und Walther [5]). Um die Registrierungen dieser Anlage für atmosphärische Druckschwankungen korrigieren zu können, wurden für die verschiedenen Kanäle die Barometerkoeffizienten

$$\alpha_m = -\frac{1}{N_m}\frac{\partial N_m}{\partial h} \qquad (3.1)$$

bestimmt. Dabei bedeutet N_m die Zählrate des Kanals m und h die atmosphärische Tiefe, gemessen in Druckeinheiten. Die Resultate sind in Tab. 2 und Fig. 28 festgehalten. Aus diesen Darstellungen geht hervor, dass der Barometerkoeffizient mit steigender Multiplizität zunimmt. Dieser Befund kann durch eine energieabhängige Attenuationslänge der Nukleonenkomponente und/oder durch den Beitrag der μ-Mesonenkomponente an die Zählraten der verschiedenen Kanäle erklärt werden.

Tab. 2 Barometerkoeffizienten α_m, gemessen am Jungfraujoch (nach Walther [4])

m	$(\alpha_m \pm \Delta\alpha_m)$
1	$-(0.912 \pm 0.006)$ %/mm Hg
2	$-(0.953 \pm 0.007)$ %/mm Hg
3	$-(1.061 \pm 0.010)$ %/mm Hg
4+5	$-(1.265 \pm 0.012)$ %/mm Hg
6+7	$-(1.286 \pm 0.020)$ %/mm Hg
≥8	$-(1.330 \pm 0.025)$ %/mm Hg



$\dagger$: Gemessene Barometerkoeffizienten, α_m [4]

ϕ : Barometerkoeffizienten der Nukleonenkomponente, α_m
(für $m > 2 : \alpha_m^N = \alpha_m$)

Fig.28 Barometerkoeffizienten verschiedener Multiplizitäten am Jungfraujoch

Im folgenden wird nun der Beitrag der μ-Mesonenkomponente als Funktion der Multiplizität abgeschätzt. Dabei ist nur der μ^--Einfang zu berücksichtigen, da die Produktion von Verdampfungsneutronen durch schnelle μ-Mesonen vernachlässigt werden kann [6].

Folglich gilt:

$$N_m^\mu = F \cdot \left\{ \sum_{n=m}^{\infty} P_n^m \cdot P_n \right\} \cdot W_e \cdot \int_0^{\pi/2} 2\pi \cdot \sin\vartheta \cdot \cos\vartheta \cdot d\vartheta \cdot$$

$$\cdot \int_{p_{min}(\vartheta)}^{p_{max}(\vartheta)} I_{\mu^-}(p,\vartheta) \cdot dp \qquad (3.2)$$

Dabei bedeuten:

N_m^μ : Auf μ^--Einfang zurückzuführende Zählrate des Kanals m

F : Detektoroberfläche ($F = 0.94 \cdot 10^4$ cm^2)

P_n^m : Wahrscheinlichkeit, dass von n durch einen μ^--Einfang erzeugten Neutronen deren m registriert werden

P_n : Wahrscheinlichkeit für die Emission von n Neutronen bei einem μ^--Einfang

W_e : Wahrscheinlichkeit, dass ein gestoptes μ^--Meson vor dem Zerfall von einem Atomkern eingefangen wird

$I_{\mu^-}(p,\vartheta)$: Differentielles μ^--Spektrum am Jungfraujoch in Abhängigkeit des Zenitwinkels ϑ und des Impulses p

$p_{max}(\vartheta), p_{min}(\vartheta)$: Grenzen der Impulsintervalle der für Einfang in Frage kommenden μ^--Mesonen

Die Summationen und Integrationen müssen numerisch ausgeführt werden.

3.2 Abschätzung des μ^--Mesonenflusses am Jungfraujoch

Ueber den μ-Mesonenfluss in 3500 m ü.M. liegen keine detaillierten Messungen vor. Deshalb musste die μ^--Mesonenintensität am Jungfraujoch abgeschätzt werden. In den Fig. 29 - 31 sind die heute verfügbaren Messdaten zusammengestellt. (Die Kurven in Fig. 31 sind von Hand durch die Messpunkte gelegt worden. Für $\vartheta = 0^\circ$ ist das Rossi-Spektrum [7] eingezeichnet.)

Wird für die Tiefenabhängigkeit der μ-Mesonenintensität ein Exponentialgesetz der Form

$$I(h,\vartheta) = I(0,\vartheta) \cdot e^{\frac{\alpha^\mu \cdot h}{\cos\vartheta}} \qquad (3.3)$$

vorausgesetzt, ergibt sich nach Fig. 30 für $600\ g\ cm^{-2} \leq h \leq 1033\ g\ cm^{-2}$ im Intervall $150\ \frac{MeV}{c} \leq p \leq 600\ \frac{MeV}{c}$, welches für uns von Interesse ist, ein impulsunabhängiger Korrekturkoeffizient

$$\alpha^\mu \simeq 0.25\ \%/mm\ Hg$$

was mit den Angaben von Lindgren und Lindholm [13] übereinstimmt.

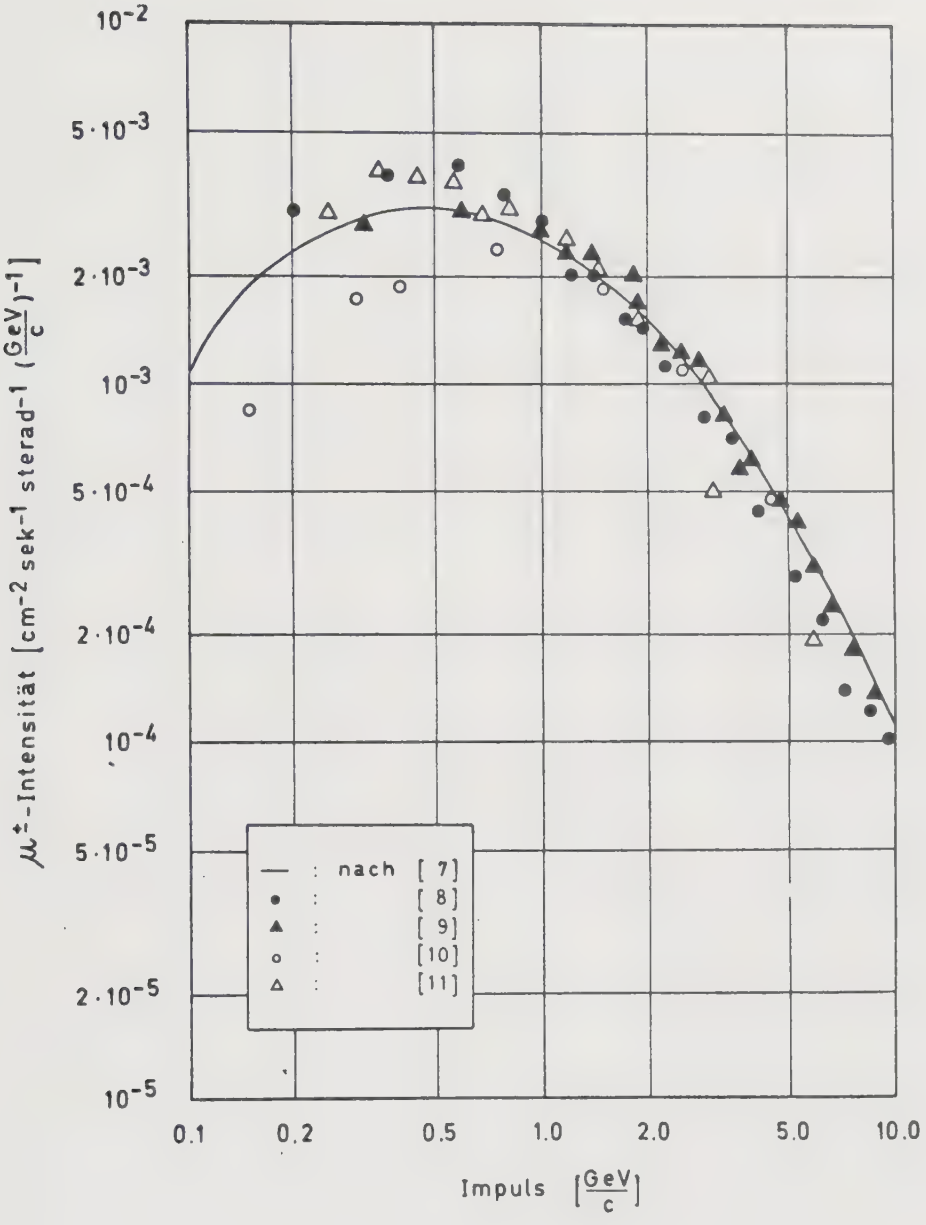


Fig.29 Differentielles Spektrum der $\mu^{\pm}$-Mesonenkomponente in Meereshöhe und Zenitrichtung ($\vartheta = 0°$)

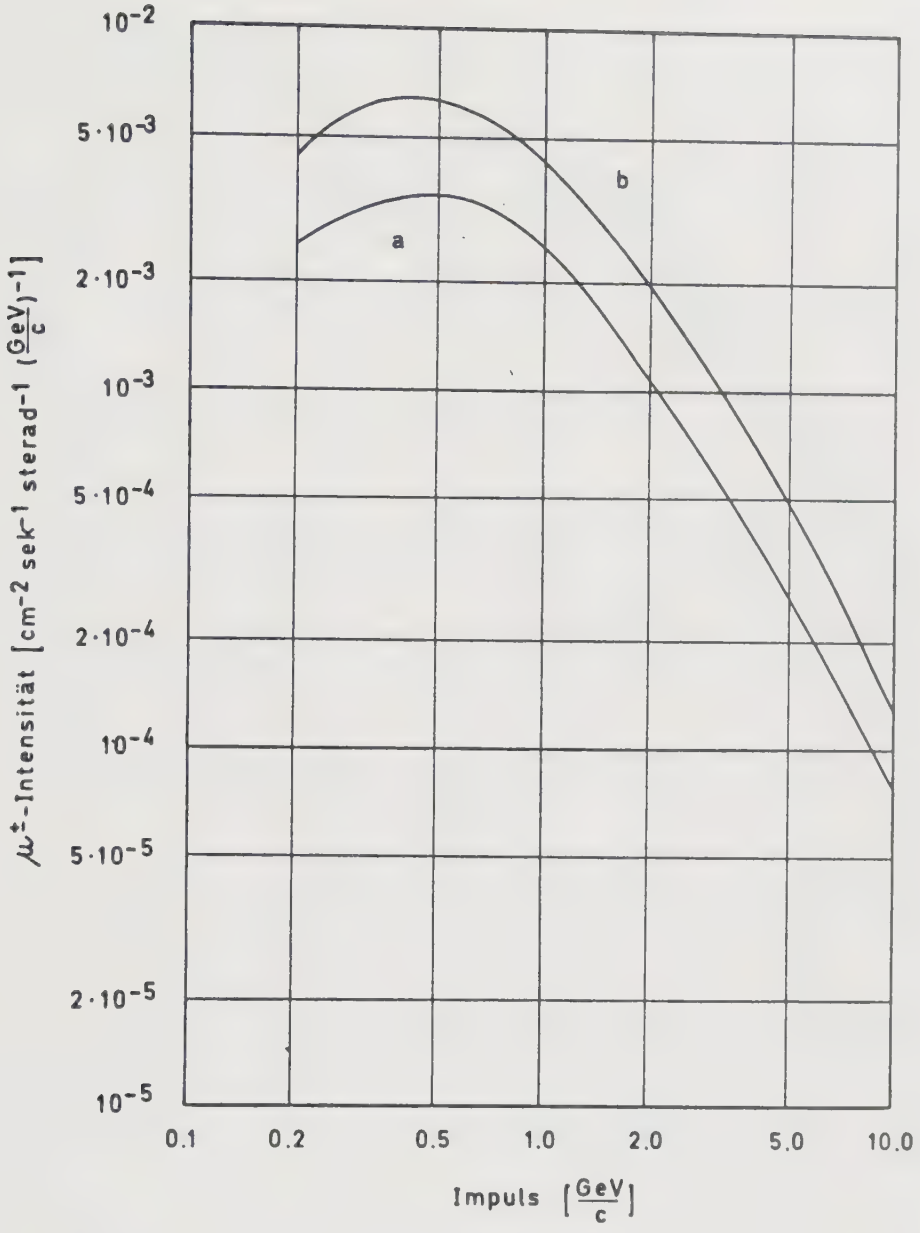


Fig.30 $\mu^{\pm}$-Spektrum in Zenitrichtung ($\vartheta = 0°$) in Meereshöhe (a) und 3000 m (b) (nach Allkofer und Trümper [12])

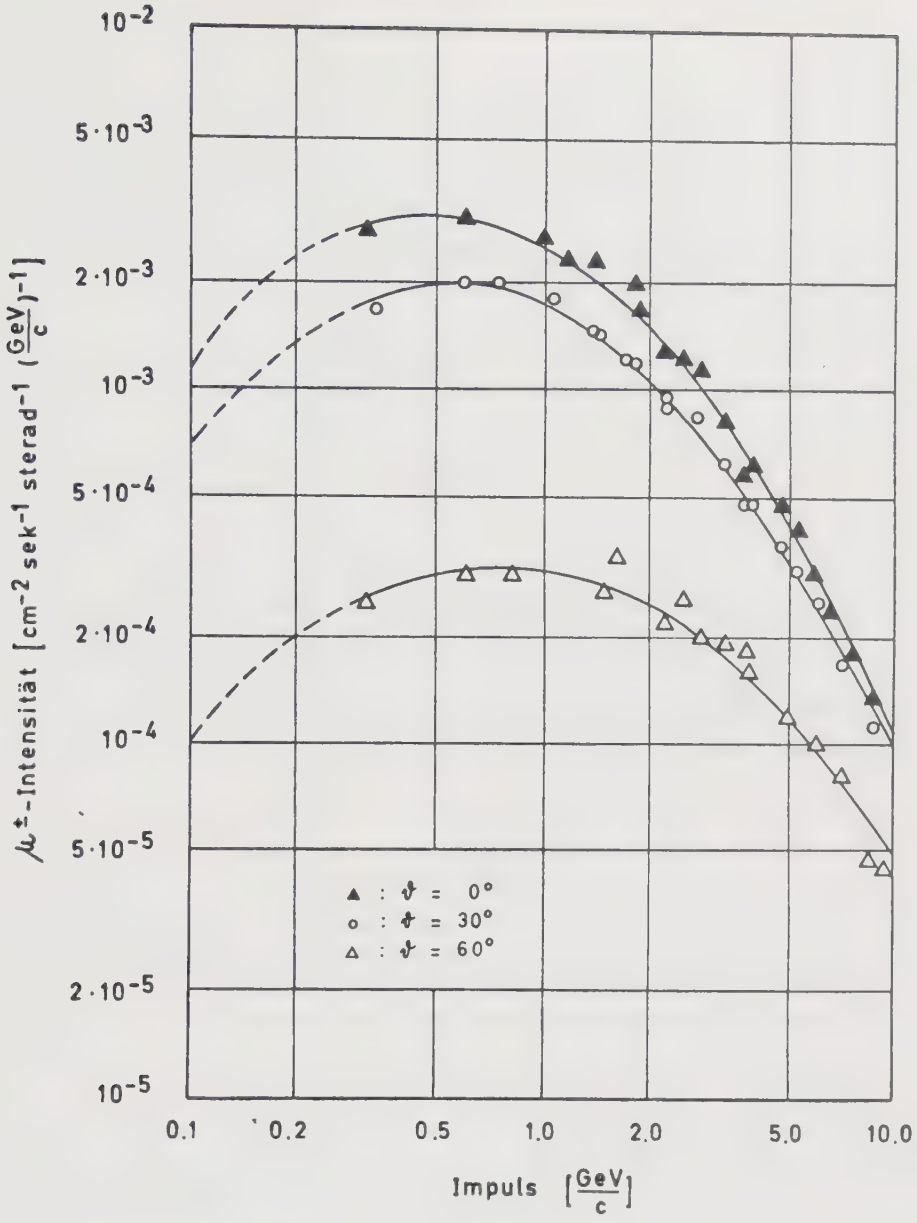


Fig.31 Meereshöhenspektrum der $\mu^{\pm}$-Mesonenkomponente in Abhängigkeit des Zenitwinkels (nach Moroney und Parry [9])

Werden die Werte von Moroney und Parry damit auf Jungfraujochhöhe extrapoliert, ergeben sich die in Fig. 32 und 33 aufgezeichneten Spektren. Wie Fig. 29 zeigt, sind diese Daten mit einem Fehler von ungefähr $\pm$ 25% behaftet. Zum Vergleich sind in den Figuren auch die Messungen von Allkofer für $\vartheta=0^{\circ}$ und $\vartheta=37^{\circ}$ in 3000 m ü.M. dargestellt. Diese Werte stimmen mit unseren Extrapolationen auf einen Faktor 2 überein.

In den Fig. 34 und 35 sind dann die μ^--Intensitäten, $I_{\mu^-}(p,\vartheta)$, aufgetragen. Bei ihrer Berechnung ist ein von Impuls und Zenitwinkel unabhängiges μ^+/μ^--Verhältnis von 1.12 $\pm$ 0.12 angenommen worden (Owen und Wilson [14], Moroney und Parry [9], Allkofer [15]).

3.3 Einfluss der μ^--Mesonenkomponente auf die Zählraten des Multiplizitätsmeters

Zur numerischen Integration der Rate gestopter μ^--Mesonen im Detektor werden drei Zenitwinkelintervalle

$$0^{\circ} \leq \vartheta \leq 15^{\circ}$$
$$15^{\circ} < \vartheta \leq 45^{\circ}$$
$$45^{\circ} < \vartheta \leq 75^{\circ}$$

betrachtet, innerhalb derer konstante mittlere Flüsse nach Fig. 34 und 35 angenommen werden.

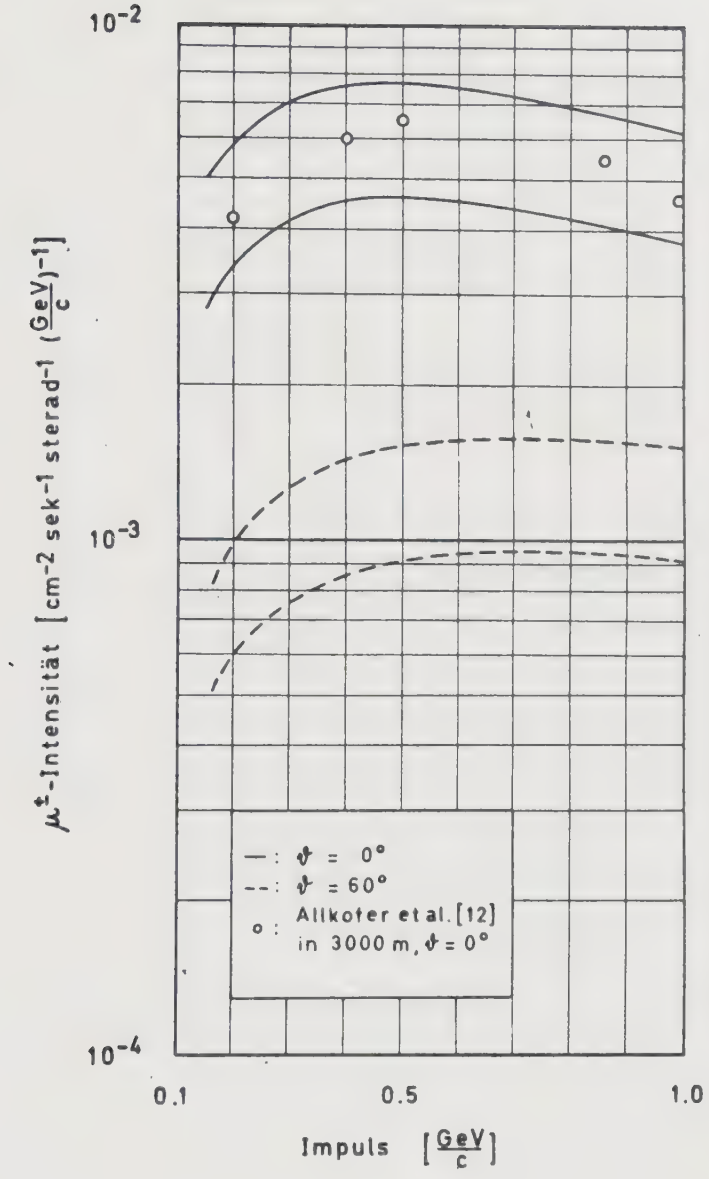


Fig. 32 Maximale und minimale $\mu^{\pm}$-Intensitäten in 3500 m

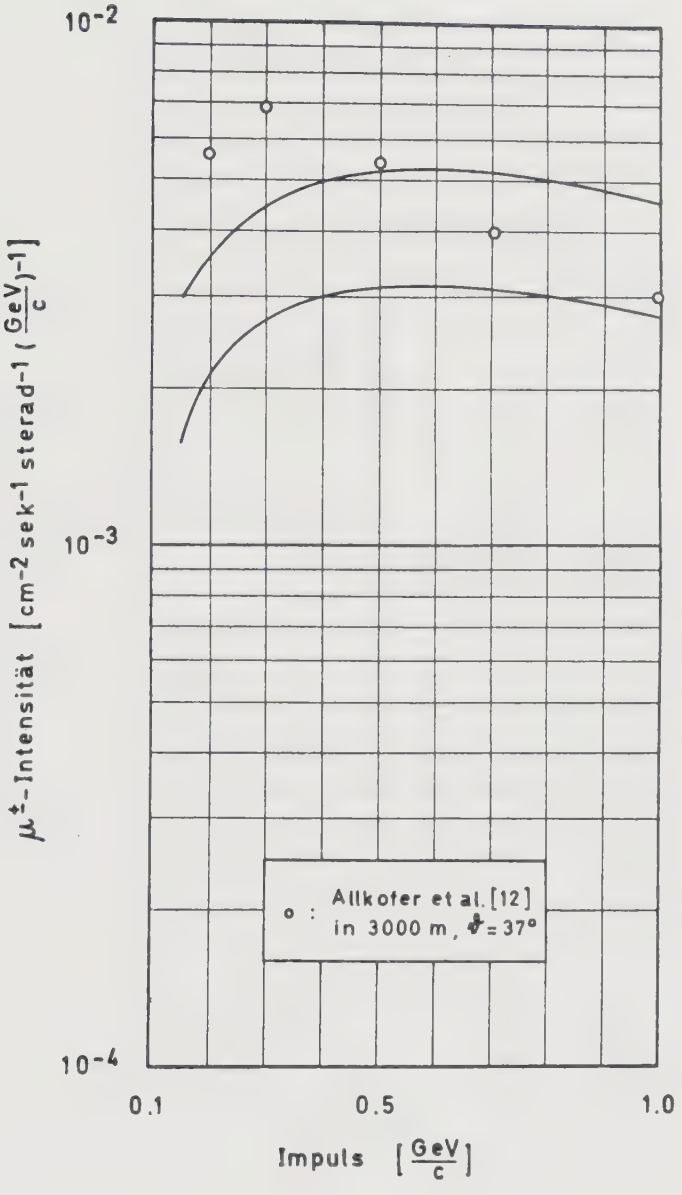


Fig. 33 Maximale und minimale $\mu^{\pm}$-Intensitäten in 3500 m für $\vartheta = 30°$

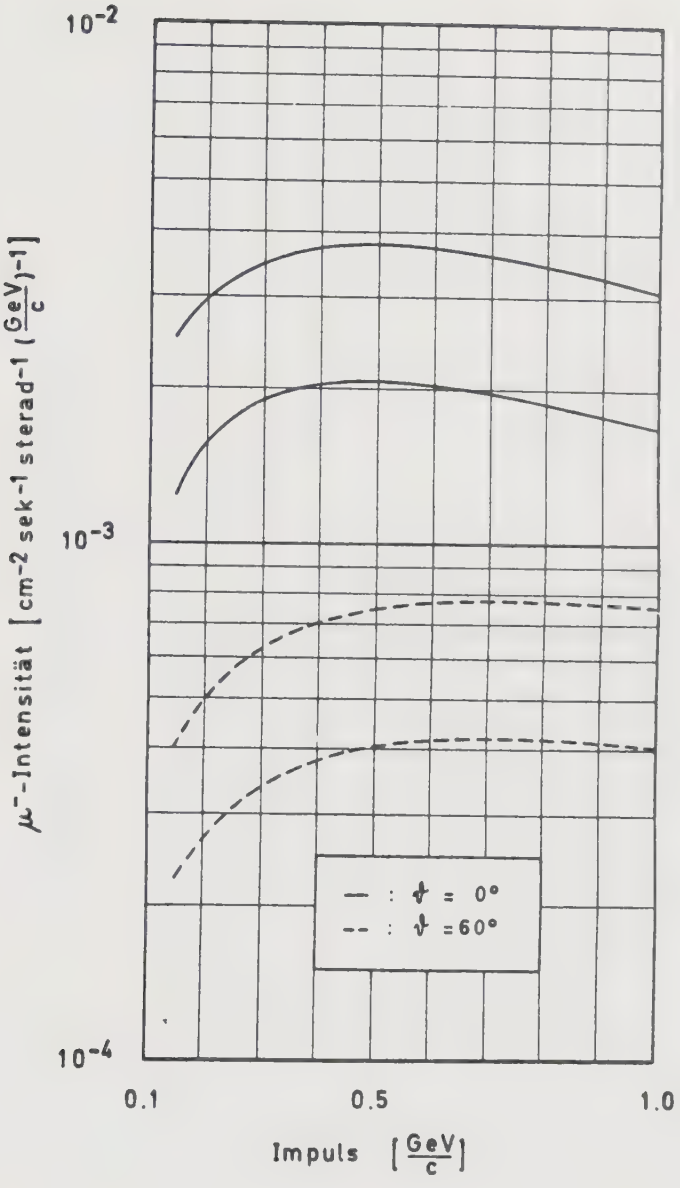


Fig. 34 Maximale und minimale μ^--Intensitäten in 3500 m

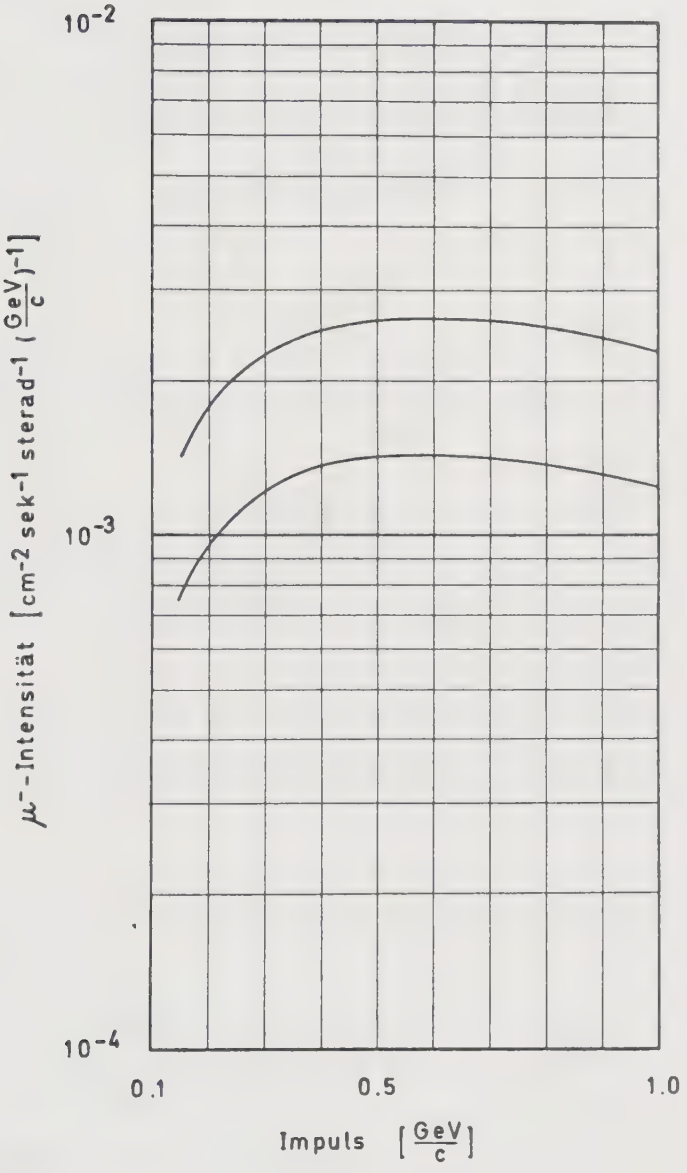


Fig. 35 Maximale und minimale μ^--Intensitäten in 3500 m für $\vartheta = 30°$

Für die Bestimmung der Grenzen der Impulsintegration, $p_{max}(\vartheta)$ und $p_{min}(\vartheta)$, wird einerseits die Reichweite - Energie - Beziehung für μ-Mesonen in Blei benützt [16], andererseits die Formel der mittleren Ionisationsverluste [17] der μ-Mesonen für Paraffin integriert. Wird Paraffin als Alkan mit einer Dichte von 0.9 g cm^{-3} angenähert, ergibt sich:

$$-\frac{\overline{dE}}{dx} = \frac{E^2}{E^2 - m_\mu^2 \cdot c^4} \sum_{i=H,C} \left\{ 0.153 \cdot \varrho_i \cdot \frac{Z_i}{A_i} \cdot \right.$$

$$\cdot \left(\ln \frac{4 \cdot m_e^2 \left(E^2 - m_\mu^2 \cdot c^4\right)^2}{I^2 \cdot Z_i^2 \cdot m_\mu^2 \cdot c^2 \left(m_\mu^2 \cdot c^2 + 2 \cdot m_e \cdot E\right)} \right)$$

$$\left. - 2 \cdot \frac{E^2 - m_\mu^2 \cdot c^4}{E^2} + \frac{m_e^2 \left(E^2 - m_\mu^2 \cdot c^4\right)^2}{E^2 \left(m_\mu^2 \cdot c^2 + 2 \cdot m_e \cdot E\right)^2} \right\} \frac{MeV}{cm} \qquad (3.4)$$

Dabei bedeuten:

E	:	Totalenergie
m_μ	:	μ-Mesonenmasse
m_e	:	Elektronenmasse
ϱ_i	:	Partialdichte in g cm^{-3}
Z_i	:	Ordnungszahl des Targetkerns i
A_i	:	Massenzahl des Targetkerns i
I	:	Mittleres Ionisationspotential in eV ($I \simeq 14$)
x	:	Integrationsweg

Die numerische Auswertung ergibt, dass μ-Mesonen der in Tab. 3 festgehaltenen Energie-, bzw. Impulsintervalle, im Detektor eingefangen werden können.

Daraus ergibt sich weiter:

$$224\ \text{sek}^{-1} \leq F \cdot \int_0^{\pi/2} 2\pi \cdot \sin\vartheta \cdot \cos\vartheta \cdot d\vartheta \cdot$$

$$\cdot \int_{p_{(min}(\vartheta)}^{p_{(max}(\vartheta)} I_{\mu^-}(p,\vartheta) \cdot dp \leq 418\ \text{sek}^{-1} \qquad (3.5)$$

Die Wahrscheinlichkeit, dass ein abgebremstes μ^--Meson vor dem Zerfall durch einen Atomkern eingefangen wird, beträgt:

$$W_e = \frac{\tau_e^{-1}}{\tau_e^{-1} + \tau_\mu^{-1}} \qquad (3.6)$$

Dabei bedeuten:

τ_μ : Mittlere Lebensdauer der μ-Mesonen

$$\tau_e = \tau_\mu \left(\frac{Z_o}{Z_{eff}}\right)^4 \quad [18] \qquad (3.7)$$

$$Z_o = 10.0$$

$$Z_{eff} = Z\left(1 + \left(\frac{Z}{37.2}\right)^{1.54}\right)^{-\frac{1}{1.54}} \qquad (3.8)$$

Z : Ordnungszahl des einfangenden Kerns

Tab. 3 Grenzen der Impulsintegrationen, $p_{min}(\vartheta)$ und $p_{max}(\vartheta)$

Zenitwinkel	Kin. Energie [MeV]	Impuls $\left[\frac{MeV}{c}\right]$
$0^{\circ} \leq \vartheta \leq 15^{\circ}$	$60 \leq E_{kin} \leq 230$	$128 \leq p \leq 320$
$15^{\circ} < \vartheta \leq 45^{\circ}$	$65 \leq E_{kin} \leq 265$	$135 \leq p \leq 355$
$45^{\circ} < \vartheta \leq 75^{\circ}$	$95 \leq E_{kin} \leq 430$	$145 \leq p \leq 525$

Daraus folgt, dass im Blei 99.0 % μ^--Mesonen eingefangen werden, was eine Einfangrate von

$$222\ \text{sek}^{-1} \leq F \cdot W_e \cdot \int_0^{\pi/2} 2\pi \cdot \sin\vartheta \cdot \cos\vartheta \cdot d\vartheta \cdot$$

$$\cdot \int_{p_{min}(\vartheta)}^{p_{max}(\vartheta)} I_{\mu^-}(p,\vartheta) \cdot dp \leq 414\ \text{sek}^{-1} \qquad (3.9)$$

ergibt.

Zur Berechnung der durch die μ^--Mesonen induzierten Multiplizitätsraten N_m^μ müssen weiter die Ausdrücke

$$\sum_{n=m}^{\infty} P_n^m \cdot P_n$$

berücksichtigt werden.

P_n gibt die Wahrscheinlichkeit für die Emission von n Neutronen bei einem μ^--Einfang an und ist von Kaplan et al. [19] gemessen worden (Tab. 4).

Bei der Berechnung der Registrierwahrscheinlichkeiten P_n^m muss einerseits berücksichtigt werden, dass die mit Energien von einigen MeV emittierten Neutronen innerhalb von etwa 2.10^{-5}sek [4] thermalisiert werden und dann mit einer mittleren Lebensdauer τ_a von $\sim 0.3 \cdot 10^{-3}$sek [4] durch den Detektor diffundieren. Weiter muss in Betracht gezogen werden, dass das Multiplizitätsmeter nach der Registrierung eines ersten Neutrons nur für die Zeit τ_u geöffnet ist.

Tab. 4 Wahrscheinlichkeit für Emission von n Neutronen bei einem μ^--Einfang im Blei (nach Kaplan et al. [19])

n	P_n
0	0.32 ± 0.10
1	0.49 ± 0.06
2	0.15 ± 0.03
3	0.019 ± 0.014
4	0.011 ± 0.006
5	0.006 ± 0.005
6	0.003 ± 0.003

Deshalb ergibt sich:

$$P_n^m = \int_{t=o}^{\infty} W_1 \cdot dW_2 \cdot W_3 \qquad (3.10)$$

Dabei bedeuten:

$W_1 = e^{-n \cdot W_r \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_a}}\right)}$: Wahrscheinlichkeit, dass im Intervall t=0 bis t kein Neutron registriert wird (t=0 : Zeitpunkt der Thermalisierung der Neutronen) (3.11)

$dW_2 = n \cdot W_r \cdot e^{-\frac{t}{\tau_a}} \cdot \frac{dt}{\tau_a}$: differentielle Wahrscheinlichkeit, dass im Intervall t bis t + dt ein Neutron registriert wird (3.12)

$W_3 = \frac{\bar{k}^{m-1} \cdot e^{-\bar{k}}}{(m-1)!}$: Wahrscheinlichkeit, dass im Intervall t bis $t + \tau_u$ noch m - 1 Neutronen registriert werden (3.13)

W_r : Registrierwahrscheinlichkeit für ein Neutron im Monitor ($W_r \simeq 2\%$ [20])

Dabei ist angenommen worden, dass die Registrierungen der Poissonstatistik gehorchen, wobei gilt:

$$\bar{k} = W_r \cdot n \cdot \int_{t}^{t+\tau_u} e^{-\frac{t'}{\tau_a}} \cdot \frac{dt'}{\tau_a} \qquad (3.14)$$

Die Integration ergibt:

$$P_n^m = \frac{(n\cdot W_r)^m \cdot e^{-n\cdot W_r}}{(m-1)!} \left(1 - e^{-\frac{\tau_u}{\tau_a}}\right)^{m-1} \cdot \frac{e^{n\cdot W_r \cdot e^{-\frac{\tau_u}{\tau_a}}}}{n\cdot W_r \cdot e^{-\frac{\tau_u}{\tau_a}}} \cdot$$

$$\cdot \left[1 + \sum_{\nu=1}^{m-1} (-1)^\nu \cdot \frac{\prod_{k=1}^{\nu} (m-k)}{\left(n\cdot W_r \cdot e^{-\frac{\tau_u}{\tau_a}}\right)^\nu} + (-1)^m \cdot \frac{e^{-n\cdot W_r \cdot e^{-\frac{\tau_u}{\tau_a}}}}{\left(n\cdot W_r \cdot e^{-\frac{\tau_u}{\tau_a}}\right)^{m-1}} \cdot \prod_{k=1}^{m-1} k \right] \qquad (3.15)$$

Die Werte von P_n^m sind für

$$\tau_u = 0.75 \text{ msek}$$

auf der IBM-7094-Anlage des DRZ (Darmstadt) berechnet worden und in der Tab. 5 angegeben.

Tab. 6 gibt die aus den Daten der Tab. 4 und 5 errechneten Werte für

$$\sum_{n=m}^{\infty} P_n^m \cdot P_n = W_m \qquad (3.16)$$

wieder. (Numerisch ist dabei die Summation nur bis n = 6 durchgeführt worden, da höhere Terme keinen wesentlichen Beitrag geben.)

Tab. 5 Wahrscheinlichkeit für die Registrierung von m der n emittierten Neutronen

m \ n	1	2	3	4	5	6
1	0.0197	0.0384	0.0567	0.0740	0.0907	0.1068
2		0.0007	0.0016	0.0027	0.0042	0.0059
3			0.00002	0.00006	0.00013	0.00019
4				-	-	-

Tab. 6 Wahrscheinlichkeit für die Registrierung von m Neutronen bei einem μ^--Einfang

m	W_m [%]
1	1.82
2	0.02
3	0.0002
4	-

In Tab. 7 sind dann die durch μ-Mesonen induzierten Zählraten, N_m^μ, angegeben, die aus den Werten der Tab. 6 und der max. und min. abgeschätzten Einfangrate berechnet worden sind.

3.4 Folgerungen

Unsere bisherigen Untersuchungen haben gezeigt, dass die μ-Mesonenkomponente bei den üblichen Multiplizitätsmessungen nur die Kanäle 1 und 2 beeinflusst (Tab. 7 und 8), und dass deshalb die Multiplizitätsabhängigkeit des Barometerkoeffizienten für $m \geq 3$ auf eine Energieabhängigkeit der Attenuationslänge der Nukleonenkomponente schliessen lässt.

Mit den Daten der Tab. 2 und 7 kann nun auch der Barometerkoeffizient der Nukleonenkomponente für die Multiplizitäten m = 1 und 2 berechnet werden. Dazu wird der Barometerkoeffizient α_m in die Anteile für die Nukleonen- und μ-Mesonenkomponente aufgespalten:

$$\alpha_m = \frac{N_m^\mu \cdot \alpha^\mu + N_m^N \cdot \alpha_m^N}{N_m} \qquad (3.17)$$

Es bedeuten:

N_m : Gemessene Zählrate des Kanals m

N_m^μ : Anteil der μ-Mesonenkomponente an die Zählrate des Kanals m

Tab. 7 Abgeschätzte Werte N_m^{μ} und mittlere gemessene Zählrate des Kanals m

m	N_m^{μ}, $[sek^{-1}]$	Mittlere gemessene Zählrate des Kanals m, $[sek^{-1}]$
1	$4.0 \leq N_1 \leq 7.6$	33.3
2	$0.044 \leq N_2 \leq 0.084$	6.3
3	$0.0004 \leq N_3 \leq 0.0008$	1.6
4	~ 0	

Tab. 8 Relative Beiträge der μ-Mesonenkomponente an die totalen Zählraten N_m

m	$\frac{N_m^\mu}{N_m}$
1	$12.0\ \% \leq \frac{N_1^\mu}{N_1} \leq 22.8\ \%$
2	$0.70\ \% \leq \frac{N_2^\mu}{N_2} \leq 1.33\ \%$
3	$< 0.5\ \%$

N_m^N : Anteil der Nukleonenkomponente an die Zählrate des Kanals m

α_m : Totaler Barometerkoeffizient der Multiplizität m

α^μ : Barometerkoeffizient der μ-Mesonenkomponente ($\alpha^\mu \simeq 0.25$ %/mm Hg)

α_m^N : Nukleonen-Barometerkoeffizient des Kanals m

Die Resultate dieser Berechnungen sind ebenfalls in Fig. 28 eingezeichnet.

Da für die Nukleonenkomponente gilt, dass die höheren Multiplizitäten im Mittel von Nukleonen höherer Energie erzeugt werden ([21], [22], [23], [24]), spiegeln die α_m^N die Attenuationslängen der Nukleonen verschiedener Energie wieder.

Das Ansteigen des Barometerkoeffizienten für $m \geq 3$ führt damit zum Schluss, dass die Attenuationslänge der Nukleonenkomponente energieabhängig ist. Eine genaue quantitative Analyse wird erst möglich sein, wenn die Beziehung zwischen der Energie der Sekundärnukleonen und der Multiplizität untersucht worden ist. Dieses Problem wird gegenwärtig von E.Flückiger bearbeitet.

Verdankungen

Zuerst gilt mein Dank dem Leiter dieser Dissertation, Herrn Dr. H.Debrunner, der diese Arbeit durch die Themastellung, durch anregende Diskussionen und stete Ueberwachung der Fortschritte überhaupt ermöglicht hat. Herr U.Walther hat mir in verdankenswerter Weise die Resultate seiner Multiplizitätsmessungen am Jungfraujoch überlassen. Herrn Prof. L.Delbouille, Fräulein Dr. G.Roland und Herrn J.Henseval vom "Institut d'Astrophysique de l'Université de Liège, Cointe-Scléssin" (Belgien) danke ich für die Hilfe bei der Erstellung der Programme für die Datenauswertung und für die freundliche Aufnahme in ihrer Gruppe bei den Aufenthalten am Jungfraujoch. Auch bin ich sehr dankbar, dass sie mir stets alle ihre technischen Hilfsmittel, einschliesslich des Computers, freizügig zur Verfügung stellten. Herrn Prof. Neven und Herrn Sauval vom "Observatorie de Bruxelles" danke ich, dass sie bei der Installation und und Ueberwachung der Anlage immer zu Handreichungen bereit waren. Frau E.Gilan-Schah danke ich für die saubere und präzise Ausführung aller Zeichnungen und der Reinschrift dieser Dissertation.

Diese Arbeit wurde durch den "Schweizerischen Nationalfonds zur Förderung wissenschaftlicher Forschung" unterstützt.

Literaturverzeichnis

[1] Simpson J.A., Special Report, Institute for Nuclear Studies, Univ. of Chicago (1955)

[2] Exactel Instrument Company, California, Operating Instructions 500 Series Servobarometers (1964)

[3] Debrunner H., Dissertation, Bern (1960)

[4] Walther U., Lizentiatsarbeit, Bern (1967)

[5] Debrunner H. und U.Walther, Canad. Journ. Phys. 46, 1140 (1968)

[6] Hughes E.B. und P.L. Marsden, Journ. Geophys. Res. 71.5, 1435 (1966)

[7] Rossi B., Rev. Mod. Phys. 20, 543 (1948)

[8] Allkofer O.C., Zeitschrift für Physik 158, 279 (1960)

[9] Moroney J.R. und J.K.Parry, Austral. J. Phys. 7, 423 (1954)

[10] Wilson J.G., Nature 158, 415 (1946)

[11] Caro D.E. et al., Austral. J. Sci. Res. A4, 16 (1950)

[12] Allkofer O.C. und J.Trümper, Z. Naturforsch. 19a, 1304 (1965)

[13] Lindgren S. und F.Lindholm, Tellus 13.2, 280 (1961)

[14] Owen B.G. und J.G.Wilson, Proc. Phys. Soc. Lond. A64, 417 (1951)

[15] Allkofer O.C., Fortschritte der Physik 15, 167 ff (1967)

[16] High-Energy Particle Data, Vol. II, UCRL-2426, Univ. of California

[17] Heisenberg W., Kosmische Strahlung, Anhang 1 und 2

[18] Heisenberg W., Kosmische Strahlung, S.257

[19] Kaplan N. et al., Phys. Rev. 112.1, 976 (1958)

[20] Hatton C.J. et al., Nuovo Cim. 538, 63 (1968)

[21] Bertini H.W., Monte Carlo Calculations on Intra-nuclear Cascades, ORNL-3383

[22] Hughes E.B. et al.,Proc. Phys. Soc. Lond. 83, 239 (1964)

[23] Wallace R. und C.Sondhaus, UCRL-10439

[24] Pearce R.M. und A.G.Fowler, Jour. Geophys. Res. 69, 4451 (1964)

Lebenslauf

Am 26. August 1939 wurde ich in Diemtigen geboren. Dort besuchte ich auch vier Jahre lang die Primarschule. Nach zweieinhalb Jahren in der Sekundarschule Wimmis trat ich, nachdem mein Vater an die Länggass-Schule Bern gewählt wurde, in das Städtische Progymnasium Bern und dann in das Gymnasium über. Im Herbst 1959 schloss ich dort mit der Matura Typus C ab. Nach einem durch Militärdienst bedingten Unterbruch von einem Jahr begann ich im Herbst 1960 mit dem Physikstudium an der Universität Bern. Bei Prof. Houtermans bestand ich 1966 das Lizentiat mit Hauptfach Physik und den Nebenfächern Mathematik und Chemie. Anschliessend arbeitete ich als Assistent in der Gruppe für Kosmische Strahlung.